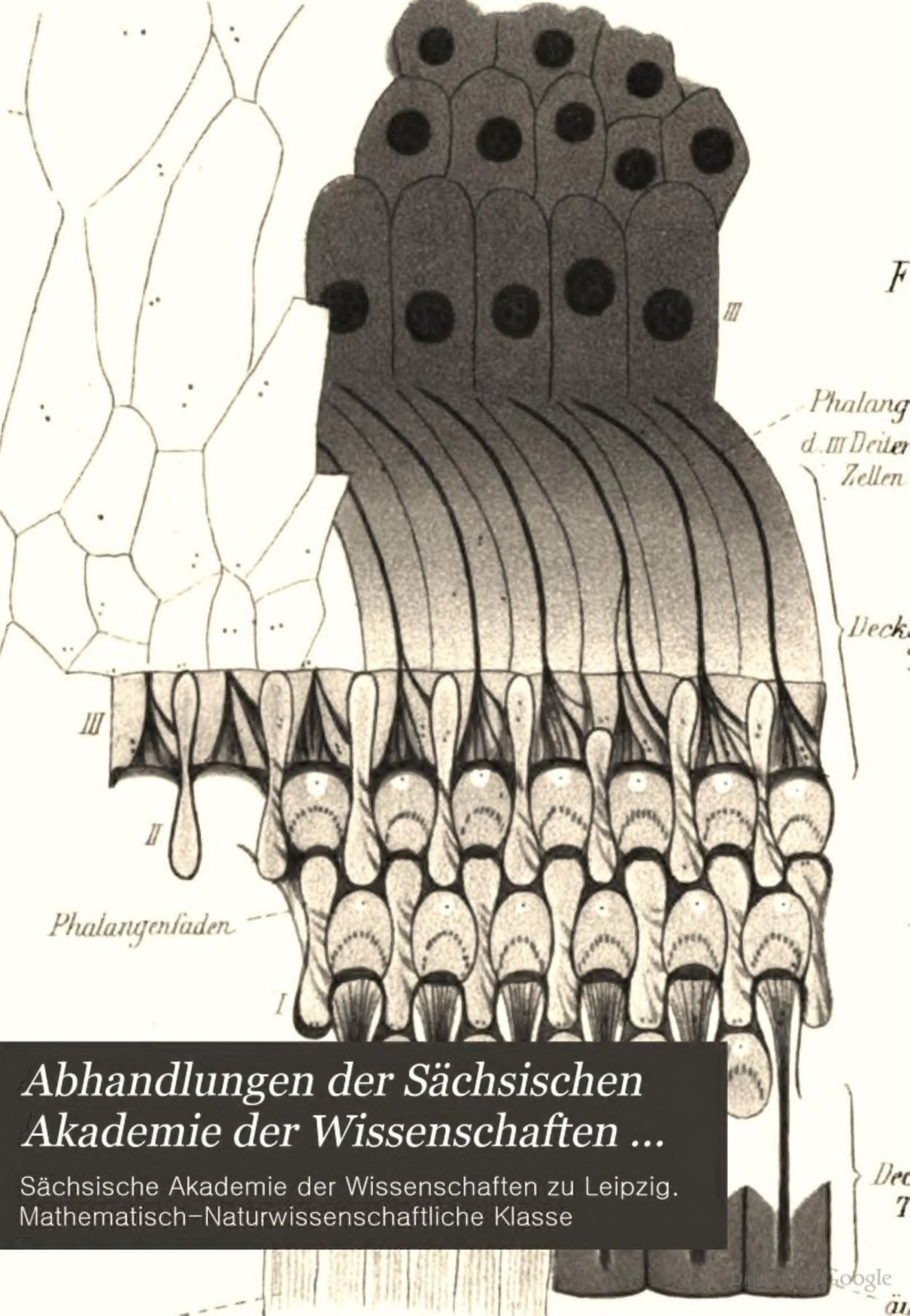
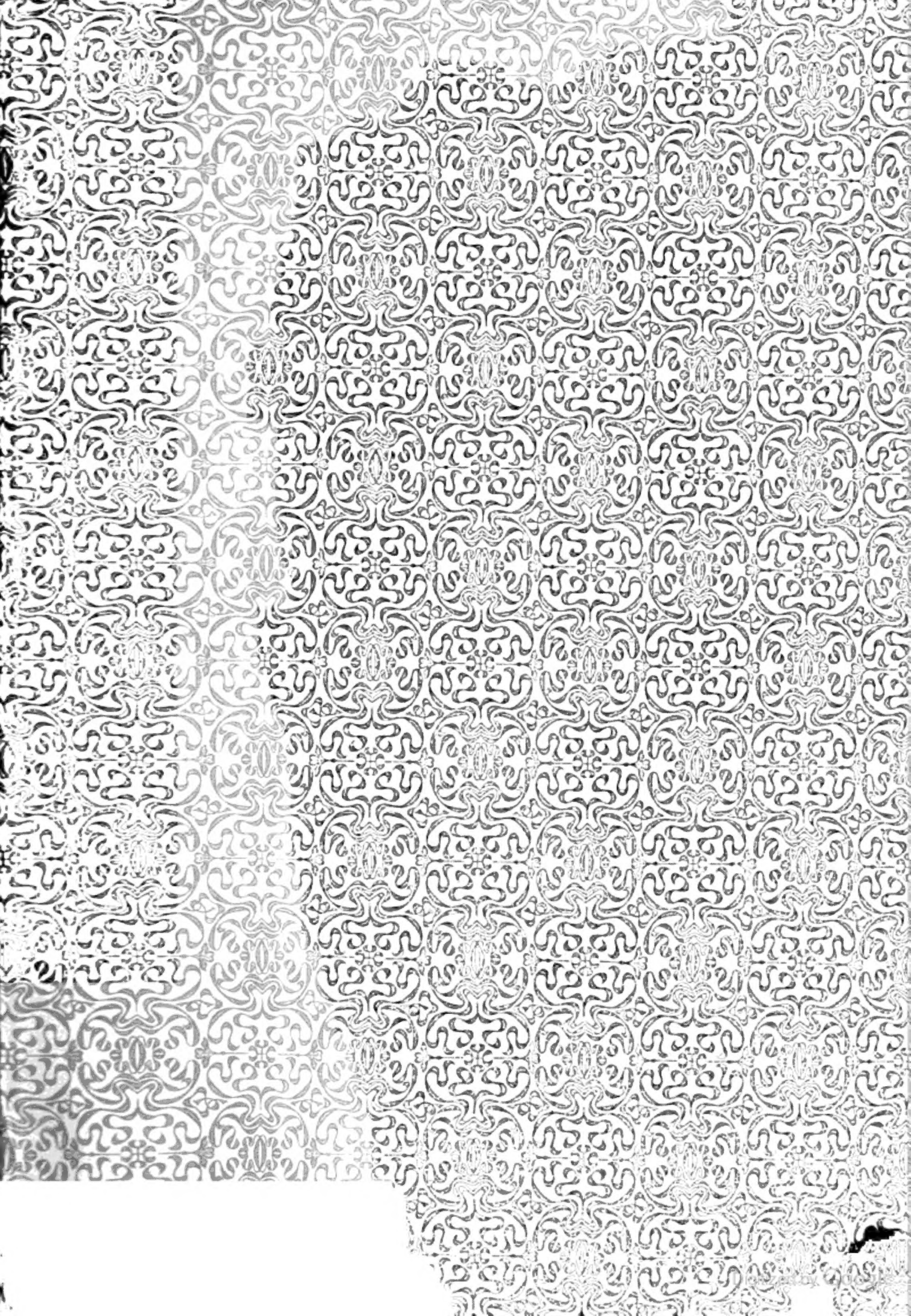


Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften ...

Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse

Digitized by Google

Library of the University of Michigan
Bought with the income
of the
Ford - Messer
Bequest



AS
18.
.51

ABHANDLUNGEN

NEUNUNDVIERZIGSTER BAND.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

ABHANDLUNGEN

DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN KLASSE

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

ACHTUNDZWANZIGSTER BAND.

MIT 1 KARTE, 12 DOPPELTAFELN, 5 TAFELN UND 49 TEXTABBILDUNGEN.

LEIPZIG
BEI B. G. TEUBNER
1904.

Digitized by Google

ABHANDLUNGEN

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

NEUNUNDVIERZIGSTER BAND.

MIT 1 KARTE, 12 DOPPELTAFELN, 5 TAFELN UND 49 TEXTABBILDUNGEN.

LEIPZIG
BEI B. G. TEUBNER
1904.

Digitized by Google

INHALT.

Seite

H. Held, Untersuchungen über den feineren Bau des Gehörorgans der Wirbeltiere. I. Zur Kenntnis des Cortischen Organs und der übrigen Sinnesapparate des Labyrinthes bei Säugetieren. Mit 4 Doppeltafeln, 1 Tafel und 2 Figuren im Text 1

C. Neumann, Ueber die Maxwell-Hertz'sche Theorie. Dritte Abhandlung. Mit 3 Textfiguren 75

F. Zirkel, Über Urausscheidungen in rheinischen Basalten 101

H. Held, Über den Bau der Neuroglia und über die Wand der Lymphgefäße in Haut und Schleimhaut. Mit 3 Figuren im Text und 4 lithographierten Tafeln 199

O. Fischer, Der Gang des Menschen. V. Teil: Die Kinematik des Beinschwingens. Mit 5 Doppeltafeln und 8 Textfiguren 319

H. Credner, Der vogtländische Erdbebenschwarm vom 13. Februar bis zum 18. Mai 1903 und seine Registrierung durch das Wiechertsche Pendelseismometer in Leipzig. Mit 26 Seismogrammen als Textfig. u. 1 Karte 419

O. Fischer, Der Gang des Menschen. VI. Teil: Über den Einfluß der Schwere und der Muskeln auf die Schwingungsbewegung des Beins. Mit 3 Doppeltafeln und 7 Textfiguren 531

12435 2

Digitized by Google

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN FEINEREN BAU DES OHRLABYRINTHES DER WIRBELTIERE.

I.

ZUR KENNTNIS DES CORTISCHEN ORGANS UND DER ÜBRIGEN SINNESAPPARATE DES LABYRINTHES BEI SÄUGETIEREN

VON

HANS HELD.

Des XXVIII. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° I.

MIT 4 DOPPELTAFELN, 1 TAFEL UND 2 FIGUREN IM TEXT.

LEIPZIG
BEI B. G. TEUBNER
1902.

Digitized by Google

Vorgetragen für die Abhandlungen am 28. Juli 1902.
Das Manuskript eingeliefert am 4. August 1902.
Der letzte Bogen druckfertig erklärt am 7. Oktober 1902.

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN FEINEREN BAU DES OHRLABYRINTHES DER WIRBELTIERE.

I.

ZUR KENNTNIS DES CORTISCHEN ORGANS UND DER ÜBRIGEN SINNESAPPARATE DES LABYRINTHES BEI SÄUGETIEREN

VON

HANS HELD.

Digitized by Google

1. Über den Stützapparat der Haarzellen im Cortischen Organ.

A. Historische Übersicht des Problems einer Befestigung der Haarzellen.

Als *Sinneszellen des* CORTIschen *Organs* gelten bisher ausschließlich diejenige Reihe von Zellen, welche mit einem oberflächlichen Besatz von Haaren über das Niveau der Lamina reticularis emporragen. Insofern kann also unter Voraussetzung der Richtigkeit dieser Anschauung die übrige Masse von Zellen, welche vom Sulcus spiralis an über die Fläche der Membrana basilaris hin bis zum Ansatz an das Ligamentum spirale verteilt sind, als eine allgemeine Stützeinrichtung aufgefaßt werden, die durch ihre flächenhafte Verklebung aneinander ein allgemeines Lager für die Einfügung jener reizempfindlichen Haarzellen abgibt. Im *besonderen* jedoch erscheinen heute in diesem allgemeinen Haufen von Zellen die *CORTIschen Pfeilerzellen* sowohl wie die *DEITERSschen Zellen* als eine besondere Gruppe von Zellen, welche durch einen *inneren Bau* in ihrem Protoplasma geeignet erscheinen, eine *festere und elastische Stütze* für jene die *Wellen der Endolymphe perzipierenden Haarzellen* abzugeben. Morphologisch gehören zwar noch diese beiden Arten von Elementen, die CORTIschen und DEITERSschen Zellen, zusammen mit den HENSENschen Zellen einer allgemeinen Gruppe an, welche höher und schlanker entwickelt ist wie die Zellen des Sulcus spiralis und die CLAUSIUSschen Zellen und dadurch eine Ursache für die hohe wulstartige Gesamtform des CORTIschen Organs überhaupt bildet. Beide unterscheiden sich jedoch histologisch von den HENSENschen Zellen dadurch, daß sie im Laufe der Entwicklung ein *System feiner und festerer Fäden* in sich ausbilden, welches, wie meine Zeichnungen auf Tafel I—IV angeben, in seiner Gesamtheit so deutlich und eigentümlich zu den Haarzellen angeordnet erscheint, daß der reine Anblick dieses Fasersystems dazu zwingt, es als ein Fachwerk stützender Fäden aufzufassen.

Digitized by Google

Der *faserige Bau der CORTIschen Pfeilerzellen* ist schon lange bekannt. So gibt bereits v. KÖLLIKER in seiner mikroskopischen Anatomie II, 2 (1852) an, daß sie „leicht streifig oder homogen" gebaut seien. M. SCHULTZE[1]) beschreibt sie dann als faserartige Gebilde, von denen besonders die inneren Pfeilerzellen sich leicht zerfasern lassen. Ebenso gibt DEITERS[2]) an, daß aus einer solchen inneren CORTIschen Faser „bei beginnender Maceration eine Menge schmaler aber gleichmäßiger nicht eckiger Faserchen hervorgehen". An den Fasern der II. Reihe, den äußeren Pfeilerzellen, unterscheidet DEITERS eine Hülle und einen konsistenteren Inhalt und erwähnt ferner, daß mitunter in der Faser eine „feine regelmäßige Strichelung" zu beobachten sei, die sich deutlich „als feine Längsfältchen charakterisieren und demgemäß auch in ihrer Richtung von den Biegungen der Faser modifiziert werden." Von BÖTTCHER[3]) endlich wird die Zusammensetzung der CORTIschen Fasern aus mehreren Fibrillen angegeben, was dann auch NUEL, LAVDOWSKY[4]) und RETZIUS[5]) gefunden. Besonders in seiner letzten Arbeit (biol. Unters. IX. Zur Kenntnis der Gehörschnecke) teilt RETZIUS mit, daß er durch Eisenhämatoxylinfärbung die Zusammensetzung der Pfeiler aus einzelnen Fäden sehr deutlich dargestellt habe; sie sind 14 bis 15 an der Zahl in jeder Zelle vorhanden und noch durch eine hellere Zwischensubstanz von einander getrennt. Beim Meerschweinchen hat JOSEPH[6]) ausführlicher den Bau der Pfeilerzellen beschrieben. Die Substanz der schlanken Pfeilerkörper besteht aus Fibrillen, die im Kopf der Zelle pinselartig divergieren und unten im Fuß kegelförmig ausgebreitet der Membrana basilaris aufsitzen. Außer den Fibrillen sind besondere Einschlüsse von größerer Härte und Konsistenz, ihrer Natur nach hornartige Zellprodukte, zu unterscheiden, welche in den Köpfen der inneren und äußeren Pfeilerzellen sowie im Fuß der äußeren Pfeilerzellen vorkommen.

1) Über die Endigungsweise der Hörnerven im Labyrinth. J. Müllers. Archiv 1858.

2) Untersuchungen über die Lamina spiralis membranacea. Bonn 1860. S. 28

3) Über Entwicklung und Bau des Gehörlabyrinths. 1869.

4) Untersuchungen über den akustischen Endapparat der Säugetiere. Schultzes Archiv 13. S. 502.

5) RETZIUS, Gehörorgan d. Wirbeltiere, 1884.

6) Zur Kenntnis vom feineren Bau der Gehörschnecke. Anatom. Hefte XIV. 1900.

Digitized by Google

Letzterer, der äufsere Pfeilerfußeinschluß, ist ein schief kegelförmiges Gebilde (bei Ratte und Maus mehr flachhügelig); die Kopfeinschlüsse sind in jeder Zelle 2 Halbkörper, deren Breitseiten bei den Nachbarzellen aneinanderliegen und zusammen den ellipsoidischen Einschlußkörper bilden, welchen SCHWALBE noch auf eine Zelle lokalisierte. v. SPEE[1]) hat dann in jüngster Zeit in den CORTIschen Pfeilerzellen des Menschen ausführlich ein Fasersystem beschrieben, welches mit einem „pyramidenförmig gestalteten Fußbüschel an der Basalfläche der Zelle" entspringt, die Zelle dann der „Länge nach" durchzieht und „teilweise im Kopf der Zelle endigt, teilweise auch in dem Schnabel der Zelle weiterläuft und sich bis an dessen Ende zunächst den CORTIschen Haarzellen fortsetzt." Neu erscheinen die SPEEschen Angaben über die dreieckigen Endplättchen der einzelnen Fasern längs des verdichteten Zellrandes der Kopfstücke der Pfeilerzellen.

Über die *Faserstreifen im Innern der DEITERSschen Zellen* stimmen die bisherigen Angaben viel weniger überein. Zum Teil hängt dies damit zusammen, daß schon über die *äußere Form der DEITERSschen Zelle* infolge von technischen Fehlern der Konservierung und solchen aus der Schwierigkeit der Beobachtung stammenden abweichend geurteilt worden ist.

Die Ansichten über die Form der DEITERSschen Zellen und ihre Beziehung zu den Haarzellen sowohl wie zur Lamina reticularis gehen vor den Untersuchungen von RETZIUS[2]) einesteils dahin, daß sie, wie DEITERS[3]) und BÖTTCHER[4]) meinen, als bipolare Zellen aufzufassen sind, welche mit einem Fortsatz, den BÖTTCHER zum Unterschied von DEITERS als einen breiten fußartigen bezeichnet, auf der Membrana basilaris festsitzen und mit dem andern, einem dünnen, fadenförmigen Fortsatz entgegengesetzt zur Lamina reticularis schräg emporreichen, der mit je einer Phalanx an ihrer inneren oder „Stäbchenseite" zusammenhängt. Die beiden Fortsätze sind von DEITERS als zentraler, der Lamina

1) Mitteilungen zur Histologie des CORTIschen Organs in der Gehörschnecke des erwachsenen Menschen. Verhandl. d. anat. Gesellschaft Bonn. 1901.

2) Zur Histologie der häutigen Gehörschnecke. 1882. Das Gehörorgan der Wirbeltiere. II. 1884.

3) Untersuchungen über die Lamina spiralis membranacea. S. 59—61.

4) Über Entwicklung und Bau des Gehörlabyrinths nach Untersuchungen an Säugetieren. 1869. S. 99—104.

Digitized by Google

reticularis angehefteter, und peripherer Fortsatz bezeichnet und unterschieden worden mit der besonderen und wichtigen Angabe, daß der periphere zur Membrana basilaris absteigende Fortsatz mit einer stielartigen Verlängerung der CORTIschen Zellen, den jetzigen Haarzellen, zusammenhänge. Dieser basilare Fortsatz der Haarzellen, der sogenannte „Verbindungsstiel", dient dann nach DEITERS der Anheftung der Haarzellen an der Basilarmembran, sodaß also hiernach an dieselbe Stelle jener Haut DEITERSsche Zellen wie Haarzellen befestigt wären, welche Anheftungsstellen als „dreieckige, bei günstiger Lage schaufelförmige Anschwellungen" jener rundlichen Stiele erscheinen. Dieser DEITERSsche Verbindungsstiel, der nach meiner Beobachtung und Auffassung einen wichtigen Stützapparat für den Boden der Haarzellen abgibt, wie weiter unten gezeigt wird, ist dann von den späteren Beobachtern teils bestätigt teils bestritten worden. So leugnet ihn BÖTTCHER und läßt infolge dessen auf seinen schematischen Zeichnungen den dünneren unteren Fortsatz der Haarzellen, seiner „absteigenden Hörzellen", nach innen von den breiteren Füßen der DEITERSschen Zellen, seinen sogenannten „aufsteigenden Hörzellen", angeheftet sein. Auch HENSEN[1]) hat keine stielartige Verbindung der Haarzellen mit jenen Zellen gesehen.

Im Gegensatz zu dieser ersten Anschauung, nach der also Haarzellen und DEITERSsche Zellen zweierlei sind, wenn sie auch nach DEITERS durch einen Verbindungsstiel an der Membrana basilaris vereinigt sind, wurde dann von GOTTSTEIN[2]) und WALDEYER[3]) die Lehre aufgestellt, daß die äußeren Haarzellen als Zwillingszellen aufzufassen wären, welche durch Verschmelzung der Haarzellen mit den DEITERSchen Zellen zustande kommen; die Unmöglichkeit, beide vollständig zu isolieren, soll nach GOTTSTEIN beweisen, daß zum mindesten eine innige Verklebung, wenn nicht Verwachsung, zwischen beiden Anteilen bestehe. Diese Doppelzellen zweigen dann in der Höhe des unteren Kerns (Anteil der DEITERSschen Zelle) zwei Fortsätze ab, einen seitlichen als „Phalangenfortsatz" und einen „Basilarfortsatz", welcher ein-

1) Zur Morphologie der Schnecke des Menschen und der Säugetiere. Zeitschrift f. wissenschaftl. Zoologie. 13. 1863.

2) Über den feineren Bau und die Entwicklung der Gehörschnecke beim Menschen und den Säugetieren. Arch. f. mikr. Anatomie. 8. 1872.

3) Hörnerv u. Schnecke in Strickers Handbuch d. Gewebelehre II. 1872.

Digitized by Google

mal unten an die Membrana basilaris festgelötet ist und andererseits am oberen Ende in zwei Arme sich gabelt, welche den oberen Kern der Doppelzelle (Kernanteil der Haarzelle) umklammern. Da beide Fortsätze sich im unteren Teil der Doppelzelle vereinigen (siehe die WALDEYERsche Abbildung 328 in Strickers Handbuch d. Gewebelehre S. 935), so war damit die ursprüngliche Beobachtung von DEITERS wieder aufgenommen und seine Lehre vom Verbindungsstiel aufs neue gestützt worden. Für die Ansatzweise des unteren Fortsatzes oder des DEITERSschen Verbindungsstieles fand dann NUEL[1]), daß die Stiele der beiden innersten Zellenreihen „in polygonalen Feldern enthalten sind, die sich gegenseitig wie ein Pflasterepithel berühren", was dann LAVDOWSKY auch für die 3. Reihe erweiterte, jene aber zugleich nicht für Zellmembranen, sondern für Anteile eines unteren faserigen und zwar bindegewebigen Stützapparates erklärte. In einer größeren Arbeit erweiterte dann NUEL[2]) bedeutend die Vorstellungen von der Form der DEITERSschen Zellen, die als Cylinderzellen aufgefaßt werden, die mit seitlichen konischen Fortsätzen versehen sind, welche faserig gebaut sind und an der Membrana reticularis inserieren, wobei sie seitlich schräg und zwar an 3 CORTIschen Zellen hinweg abgelenkt sind. Unten stoßen die Begrenzungsmembranen der DEITERSschen Zellen zu sechseckigen Flächen auf der Membrana basilaris zusammen, in denen sich die Fußpunkte der unteren Fortsätze der Haarzellen oder der DEITERSschen Verbindungsstiele befinden. Woraus NUEL gefolgert und durch Beobachtung bestätigt gefunden hat, daß jene unteren Stiele in die DEITERSschen Zellen eindringen. Neu ist dann noch und wichtig, wie die späteren Auseinandersetzungen meinerseits zeigen werden, die Beobachtung NUELS, welche in zwei Fällen in den DEITERSschen Zellen einen zentralen Längsfaden nachwies.

Die umfangreichen Untersuchungen von RETZIUS über das Gehörorgan sind dann in gewisser Weise für die Erkenntnis der Form und der Bedeutung der DEITERSschen Zellen sehr wertvoll geworden, wenn sie auch in anderer Hinsicht über die DEITERS-

1) Beitrag zur Kenntnis der Säugetierschnecke. Arch. f. mikr. Anatomie 8.

2) Recherches microscopiques sur l'anatomie du limaçon des mammifères. Mémoires cour. et. mém. des savants étrangers publ. par l'Acad. Royale de Belgique. 1878.

sche Lehre vom Verbindungsstiel zwischen Haarzelle und der nach ihm benannten Stützzelle keineswegs hinausgekommen sind.

Seine Beschreibung der DEITERSschen Zellen beim Kaninchen ist kurz folgende[1]): sie stehen in 3 alternierenden Reihen zu den Haarzellen, haben ein oberes spitzes Ende, welches schief nach oben aus der radiären Richtung abgelenkt ist, sodaß es erst in der Höhe der 3. Haarzelle mit einer zapfenartigen Verbreiterung in das innere breite Ende einer Phalanx der Lamina reticularis übergeht. Bei den beiden inneren Zellen ist das Phalangenende 8- oder bisquitförmig, bei der dritten Zellreihe aber polygonalgeformt und entspricht dem sogenannten „Schlußrahmen". Abwärts setzt sich der obere fadenförmige Fortsatz allmählig in einen stark gekörnten, protoplasmatisch nicht besonders scharf begrenzten Zellenkörper fort, welcher dann schließlich in einen hellen leicht schrumpfenden und zerstörbaren Zellteil übergeht, der unten mit sechseckiger Grundfläche im Sinne der NUELschen Beobachtung auf der Basilarmembran befestigt ist. In der ganzen Länge und zwar am inneren Rande ist nun jede DEITERSsche Zelle von einem glänzenden Faden durchzogen, den schon NUEL gelegentlich beobachtet aber nicht für typisch gehalten hatte, und der mit dreieckiger oder trichterförmiger Verbreiterung ebenfalls der Basilarmembran angeheftet ist. Zum Unterschied von NUEL und DEITERS aber meint RETZIUS, daß NUEL durch seine eigentümliche Auffassung, wonach die unteren Ausläufer der Haarzellen oder die DEITERSschen Verbindungsstiele in die DEITERSschen Zellen eindringen, nur die Konfusion der Ansichten gesteigert habe, da diese Fäden ganz bestimmt nur den DEITERSschen Zellen allein angehörten und keine Verbindung irgendwelcher Art mit ihnen eingingen. Ebenso gibt RETZIUS bezüglich der Katze (l. c. S. 322) folgendes an: „die Fäden, welche bis zur Basilarmembran laufen und sich dort in den Fußflächen der DEITERSschen Zellen befestigen, gehören ganz und gar diesen letzteren Zellen an — was ich besonders gegen NUEL hervorhebe, der die Verhältnisse bei der Katze eingehender beschrieben und dargestellt hat. Diese Fäden laufen wie beim Kaninchen stets innerhalb der DEITERSschen Zellen, in der Nähe ihrer inneren Fläche und weiter an dem Kern vorbei, durch die körnige Partie,

1) Das Gehörorgan der Wirbeltiere. 1884. S. 289—291.

Digitized by Google

wonach sie durch den oberen Fortsatz bis zur Phalange sich fortsetzen; sie haben deshalb nichts direkt mit den Haarzellen zu tun.“ Zu demselben Resultat kommt Retzius auch bei den Deitersschen Zellen des Menschen.

v. Spee[1]) endlich beschreibt die Deitersschen Zellen beim Menschen als cylindrische Zellen und unterscheidet einen Basalteil, in dem der „pyramidenförmige Fuß des Faserstranges und in verschiedener Höhe daneben der Zellkern enthalten sind, und einen Halsteil, welcher schief zum Anfang der Zelle steht und an 4—5 Cortischen Zellen vorbeiläuft, bevor er mit einem Kopfteil in der Lamina reticularis drinsteckt. Die Faserstäbe sind im oberen Halsteil in 7 und mehr Einzelfasern gegliedert, die „gegen den Rand der Kopffläche der Zellen hinziehen und unterhalb dessen in einer bandartigen Platte aus gleicher Substanz wie die Fasern endigen, den Kopfreif der Deitersschen Zelle, welcher die Ursache für die Phalangenzeichnung im Flächenbild abgibt.“ Andere Beziehungen der zentralen Fasern der Deitersschen Zellen als zur Membrana reticularis resp. basilaris hat v. Spee nicht gesehen.

Zum Unterschied von diesen Angaben von Retzius und von v. Spee über die Form der Deitersschen Zellen und ihre Verbindung mit den unteren Haarzellenenden bedeutet erst die Arbeit von Katz[2]) insofern einen wesentlichen Fortschritt, als sie, wie weiter unten sich ergeben wird, die Deiterssche Lehre vom Verbindungsstiel allein richtig weitergeführt hat.

B. Eigene Beobachtungen.

Meine Untersuchungen über den feineren Bau des Cortischen Organs umfassen die Gehörorgane bei Meerschwein, Maus, Hünd und Katze; als Fixierungsflüssigkeit für die an der Basis oder der Spitze oder auch vom Modiolus her geöffneten Schnecken habe ich zum kleinen Teil die Zenkersche Flüssigkeit mit nachfolgender Salpetersäure-Alkohol-Entkalkung benutzt, eine Methode, welche aber selbst bei Celloïdineinbettung nicht ganz Veränderungen des allgemeinen Situs des Cortischen Organs und Ver-

1) (l. c.)

2) Katz, 1.) Beitrag zur Frage über die Verbindung der Cortischen und Deitersschen Zellen des Cortischen Organs und deren Gestalt. Monatsschrift f. Ohrenheilkunde. Bd. 22. 1888. — 2.) Über die Endigung des Nervus cochleae im Cortischen Organ. Archiv f. Ohrenheilkunde. Bd. 29. 1896.

quellungen der einzelnen Zellen und ihrer Bestandteile vermeiden läßt. Zum größten Teil habe ich deshalb eine neue Methode der Fixierung mit einem zersetzten Gemisch von Kalium bichromicum, Formalin und Eisessig angewandt, die bei längerer, mehrmonatlicher Einwirkung zugleich eine zwar langsame aber sehr schonende Entkalkung besorgt. Wie die beigefügten Tafeln zeigen, vermag sie den Situs sowie feinere granuläre und faserartige Strukturen der Zellen ziemlich gut zu konservieren; immerhin hängen ihr noch einige Übelstände an, die mich abhalten, schon jetzt genauere Vorschriften über ihre Anwendung aus der Hand zu geben. Als Färbeflüssigkeit habe ich eine einfache molybdänsäurehaltige Hämatoxylinlösung eigener Zubereitung gebraucht, die mehrere Stunden auf heißem Sandbade und unter Verdunstung der Färbelösung einwirkt, nachdem die betreffenden Celloïdinschnitte von ungefähr 10—15—20 μ Dicke 24 Stunden und länger mit einer Lösung von Liq. Aluminis aceti, Kalium bichromicum und Chromalaun oder auch in anderen Fällen von konzentriertem Alsol gebeizt worden sind. Die gefärbten Schnitte werden dann entfärbt, was sich durch Lösungen von Eisensalzen oder Pikrinsäure oder Ferridcyankali und Borax nach WEIGERTscher Vorschrift oder auch durch die PALSche Methodik resp. durch eine kombinierte Anwendung mehrerer Differenzierungsflüssigkeiten hintereinander erreichen läßt. Eine gleichmäßig wirkende Differenzierungsflüssigkeit, die auch in anderen Händen immer zuverlässige und konstante Resultate liefert, zu finden, ist mir jedoch bisher noch nicht völlig geglückt, weshalb ich mir auch hierin genauere Angaben jetzt zu machen versagen muß.

Auf den mir vorliegenden Schnitten sind bei einer bestimmten Differenzierungsart die Knochen entfärbt, die Knochenzellen und ihre Ausläufer verschieden dunkel tingiert; die Muskelfasern zeigen intensive Färbung ihrer Querstreifen, die kollagenen Fasern sind entfärbt, die elastischen Elemente dagegen wiederum schwarz zu erkennen. Die Markscheiden sind dunkel gefärbt, der Achsencylinder zeigt ebenso wie die Ganglienzellen als Differenzierungsrest die früher von mir beschriebenen Strukturen von Neurosomen. Die Kerne der Epithelzellen sind teils dunkel, teils völlig bis auf gröbere und feinere Nucleolen entfärbt, was auch für die Kerne der Gefäßwandungen, der Leucocyten gilt; in den Blutplättchen der Gefäßröhren sind die bereits bekannten Körnchen oder

Digitized by Google

Körnchenhaufen als dunkelschwarze Gebilde zu erkennen. Die Granula der Epithelzellen sind ebenfalls dunkel geblieben oder auch bis auf die als Centrosomen anzusprechenden Reste von gefärbten Körnchen völlig entfärbt. In den CORTIschen Pfeilerzellen endlich sowie in den DEITERSschen Zellen zeigen sich gleichmäßiger und tief dunkel gewisse höchst charakteristische Faserstrukturen, die in einer bisher zum Teil unbekannten Menge und Anordnung konstant an dieser Stelle des CORTIschen Organs ausgebildet werden.

Fasersysteme der Cortischen Pfeilerzellen.

Für die *CORTIschen Pfeilerzellen* kann ich den bisher bekannten Angaben, die in der obigen Zusammenstellung und Übersicht enthalten sind, wenig Neues hinzufügen, soweit es sich um die Anordnung und die Beziehungen eines inneren Systems von durchgreifenden Fäden handelt. Ich beschreibe deshalb nur kurz, was meine Präparate von den seit v. KÖLLIKER her bekannten Faserstrukturen zeigen.

Die Fasersysteme der CORTIschen Pfeilerzellen bilden in der Innen- wie Außenpfeilerzelle einen *kräftigen Faserstab*, welcher im langen *Mittelstück* des Zellleibes selber einen *rundlichen* resp. bei der *Innenpfeilern mehr ovalen Querschnitt* führt, *nach unten* dagegen der Membrana basilaris zu in einen von divergierenden Fasern gebildeten *Fußteil* übergeht, sodaß ein ungefähr konischer Hohlraum innerhalb dieses Fasermantels entsteht, welcher von einem entsprechend kegelförmigen *Basalkörper* als einer verdichteten Masse ausgefüllt ist. Dieser Basalkörper ist auf meinen Präparaten graubraun gefärbt und erscheint demnach von einer weniger dichten Beschaffenheit zu sein, wie die Substanz der dunkelschwarz gefärbten Fäden des Faserstabes selber. Ob er, wie JOSEPH meint (s. oben), ein hornartiges Zellprodukt ist, wird ohne besondere Untersuchungen nicht zu entscheiden sein; er kommt aber nicht nur, wie JOSEPH angibt, im *Außenpfeiler* vor („äußerer Pfeilerfußeinschluß" JOSEPH), sondern bildet auch einen konstanten Inhalt der basalen Abschnitte des *Innenpfeilers*. Die *Basalkörper des Außen- und Innenpfeilers* erscheinen als *Ursache für die fußartige Verbreiterung des Faserstabes* der CORTIschen Pfeilerzellen am Ansatz der Membrana basilaris. Dem Ansatz selber zu zeigen noch die *einzelnen Fasern eine geringe konische Verdickung*, mit der

Digitized by Google

sie an der basalen Fläche der allgemeinen Zellmembran selber aufhörend angeheftet sind, die wiederum durch eine weitere Kittmasse mit der eigenen Masse der Basilarmembran selber verklebt ist (siehe hierzu Fig. 1—4 auf Tafel I).

Nach oben zu hängen die *Innenpfeilerfasern* wiederum in gleicher Weise, wenigstens zum größten Teil, mit der entgegengesetzt liegenden allgemeinen Zellmembran zusammen, die nur infolge der Anfügung der rundlichen Kopfabschnitte der Haarzellen eine komplizierte Form erhalten und dadurch eine zunächst weniger einheitlich erscheinende Umordnung der einzelnen Faserzüge jenes Faserstabes verursacht hat. Speziell inserieren die *Fasern des Innenpfeilers* und zwar vom *ausgeschnittenen axialen Zellrand* her, welcher die äußere Rundung der inneren Haarzellenköpfe umgreift (Fig. 1—4 Tafel I), *erstens* zum kleinsten Teil an dem kurzen *Innenschnabel*, welcher ein wenig axialwärts in die Lücke zwischen zwei inneren Haarzellen hinein vorspringt, wobei er außerdem noch von der Kopfplatte der inneren Phalangenzelle (s. weiter unten S. 19 und Fig. 7 u. 9 auf Tafel II) überlagert wird, und *zweitens* an jenem *peripheren, ebenfalls konkaven Rand*, der die *erste äußere Haarzellenreihe* von innen her stützend angreift (Fig. 7, Tafel II). Diese *zweite Abteilung der Innenpfeilerfasern* ist mit am stärksten entwickelt; sie bildet *jenes Bogensystem*, das den Kopf der Außenpfeilerzelle überlagernd an der *Aussteifung der Decke des inneren Tunnels* Anteil hat. Eine *dritte Gruppe von Fasern* endlich strahlt divergierend in den *Kopfkörper* (Kopfeinschluß von JOSEPH, ellipsoïdischer Einschlußkörper von SCHWALBE) ein, in welchen ein Teil überzugehen scheint, während der andere die durch den Kopf des Außenpfeilers eingedrückte Membranfläche, die sog. Gelenkfläche des Innenpfeilers, erreicht und stützt. Die *Anheftungsweise* aller dieser einzelnen Fasern erfolgt unter geringer *konischer Verdickung* („dreieckige Endplättchen" von v. SPEE).

Zum Unterschied von diesen drei Faserzügen der Innenpfeilerzelle, welche jedoch allgemein ein *durchgreifendes und die entgegengesetzten Zellmembranflächen aussteifendes System von starren Fasern* bilden und nur in Folge ihrer Divergenz zu verschieden ausgestalteten Abschnitten des Innenpfeilerkopfes eine Einteilung in jene Arten gerechtfertigt erscheinen lassen, sind die *Faserbildungen der Außenpfeilerzelle auf zwei ganz verschiedene Gruppen angeordnet.*

Eine obere Gruppe liegt als dicker und in der Mitte seiner Länge *rundlicher Faserstab* im sogenannten *Außenschnabel*, welcher peripheriewärts jedesmal eine Lücke zwischen je zwei ersten äußeren Haarzellen, dieselben stützend, durchgreift, und dann unter ruderartiger Verbreiterung den *axialen* und ein wenig konkaven *Rand einer zweiten äußeren Haarzelle* erreicht. Dieser Verbreiterung entsprechend divergieren dann die einzelnen Fasern fächerförmig, um an jenem konvexen Zellrand sich verdickend anzuheften, welcher durch Kittmasse dem entsprechend konkaven Abschnitt jener Haarzelle verbunden ist. Die entgegengesetzte *andere Endfläche dieses Faserstabes* liegt dem ebenfalls konkaven *Innenpfeilerkopf* an; sie wird von ihm in einer leichten, basalwärts hohlen Kurve erreicht, wobei die einzelnen Fasern sich ein wenig von einander trennen und den Kopfkörper des Außenpfeilers durchsetzen (Fig. 1—4). Ob hierbei ein Teil sich in dessen Substanz auflöst, also nicht jenen Abschnitt der Zellmembran direkt erreicht, vermag ich nicht sicher an meinen Präparaten zu entscheiden, da die stärker mitgefärbte Masse des Kopfkörpers selber ein vollständiges Verfolgen aller Fasern unmöglich macht.

Längs dem vom Außenruder her eindringenden Faserstab ist in seiner entsprechenden Länge der *Kopfkörper des Außenpfeilers eingeschnitten*, was am besten aus der Ansicht von oben oder unten her sich feststellen läßt (Figg. 7 u. 8 Tafel II, Fig. 13 Tafel III von Meerschwein, Maus, Katze, die auch eine geringe Verschiedenheit im äußeren Ausschnitt des Kopfkörpers bei jenen Tieren zeigen, wie auch eine ungleiche Länge des Faserstabes und damit des ganzen Außenruders). Nach JOSEPH sind die Kopfkörper aus *zwei den beiden Seitenrändern des Kopfes sich anlegenden konvexen Verdichtungskörpern* zusammengesetzt; beim *alten* Meerschwein, Maus, Hund und Katze hängen sie aber nach meinen Beobachtungen an der *axialen Kopfseite*, welcher die Innenpfeiler anliegen, *zusammen* (siehe Fig. 7 auf Taf. II vom Meerschwein), an einer Stelle also, welche die Auflösung der Fasern des Außenruderstabes und ihre schließliche Anheftung an die axiale Kopfwand umfaßt.

Die *basale Gruppe der Fasern eines Außenpfeilers ist der Membrana basilaris aufgekittet*, entsprechend der basalen Fläche einer Außenpfeilerzelle. Hier kehren dieselben Verhältnisse eines durch einen *Basalkörper umgestalteten Fußteiles* wieder wie bei der Innen-

Digitized by Google

pfeilerzelle. Nur besteht ein *Unterschied in der Größe des Basalkörpers*, seiner zur *Membrana basilaris schieferen Anlagerung* und einer dieser und der ganzen Richtung der Außenpfeilerzelle entsprechenden *stärkeren Auswölbung* des ganzen Fußteiles, was DEITERS seinerzeit sicherlich zur Bezeichnung einer „Glocke" geführt hat, wie JOSEPH bereits vermutet hat. Mit seinem anderen Ende stößt das *basale Fasersystem* unter pinselartiger Auflösung gegen den *Kopfkörper* des Außenpfeilers, um ihn zum großen Teil zu durchsetzen und der ausgerundeten Zellwand sich anzuheften, welche gewissermaßen ein *Widerlager zu den ausgehöhlten Kopfabschnitten von Innenpfeilerzellen* bildet, ein Widerlager, welches durch die Einstrahlung und Anheftung von Faserstäben von der Membrana basilaris her eine besondere und durchgreifende Stütze erhält.

Im *Kopfkörper* der Außenpfeilerzellen kommt es somit zu einer gegenseitigen *Durchkreuzung* der beiden besprochenen Fasersysteme, deren Richtung dann ungefähr in einem Winkel auseinandergeht, der beim Meerschwein z. B. in den beiden unteren Windungen etwas weniger, in den beiden oberen dagegen etwas mehr wie 90° beträgt (Figg. 1—4 auf Taf. I) und außerdem bei den verschiedenen von mir untersuchten Tieren verschieden groß oder klein ist (Figg. 11 u. 12 auf Taf. II von Maus und Hund). Ein Umbiegen von Fasern des basalen Systems in diejenige der oberen Gruppe habe ich mit Sicherheit bisher nicht beobachten können; beide scheinen unabhängig zu sein, wofür auch ihre verschiedene Entwicklung spricht, worauf ich eingehender in einer zweiten folgenden Abhandlung über die Entwicklung des CORTIschen Organs zurückkommen werde. Genauere Angaben möchte ich über den Winkel der beiden verschränkten Stützfasersysteme einer Außenpfeilerzelle nicht aus meinen Präparaten ziehen, da mir meine Erfahrungen noch nicht umfangreich genug zu sein scheinen, um sowohl die verändernden Einwirkungen der Konservierung und Härtung auszuschließen, als auch diejenigen des verschiedenen Alters der betreffenden Tiere genügend sicher verwerten zu können. Aus gleichem Grunde möchte ich auch die vielfach berührte Frage nach der geraden oder wellenförmigen Richtung des Mittelstückes der Pfeilerzellen hier nicht behandeln, da mir meine Präparate in ungleicher, ungesetzmäßiger Weise bald eine mehr gestreckte und fast gerade, bald aber auch eine mehr oder weniger stark

Digitized by Google

durchgebogene Form des Faserstabes zeigen, Abweichungen, die in allen Windungen vorkommen können. Da sie außerdem von entsprechend starken Verbiegungen der Basilarmembran unregelmäßig begleitet sind, so scheinen sie mir vorläufig mehr eine durch Fixierung und Härtung veränderte und also unnatürliche Haltung bekommen zu haben.

Eine besondere Frage bleibt aber außerdem zu entscheiden, die nach der Art der Verbindung beider Pfeilerzellen miteinander. Sie soll nach der einen Anschauungsweise eine Art Gelenk vorstellen, wie man aus der Form der Aneinanderfügung abgeleitet hat, die den konvexen Kopf eines Außenpfeilers den ausgehöhlten Kopfflächen mehrerer innerer Pfeilerzellen eingedrückt erscheinen läßt. Diese erschlossene Artikulation würde also, auch wenn sie nur bescheidene Freiheiten der Bewegung in radialer Richtung zuließe, immerhin eine stärkere Eigenbewegung der Außenpfeilerzellen zu denjenigen der Innenpfeilerreihe gewähren. Bereits BÖTTCHER hat sich gegen solche Auffassung energisch ausgesprochen.

Auch ich glaube nicht, dafs irgend eine Art von Gelenk an der angegebenen Grenze zwischen den beiden Pfeilerreihen besteht. Meine Präparate zeigen mir vielmehr eine dunkel gefärbte *Kittlinie*, wie sie auch sonst überall zwischen den anderen Zellen des Sulcus spiralis oder jenseits der DEITERSschen Zellen bis zum Ligamentum spirale hin vorhanden ist und hier vielleicht eher noch stärker und intensiver färbbar wie dort entwickelt ist. Würde man zwischen den Pfeilerzellreihen eine Gelenkfläche wollen, so könnte man sie auch den übrigen Zellen nicht absprechen. Gegen jenes Pfeilerzellengelenk spricht aber außer dem Nachweis einer Kittmasse noch der Umstand, daß bei Isolationen frischer CORTIscher Organe fast konstant die Köpfe beider Pfeilerzellen zusammenhängend bleiben, während die starren Faserstäbe der Mittelstücke zerrissen und zerbrochen sind.

Ich meine also, daß man die Vorstellung irgend einer Art von Artikulation zwischen der inneren und äußeren Reihe der Pfeilerzellen fallen lassen muß; ebenso kann ich nicht zugeben, daß die kürzlich von JOSEPH[1]) geäußerte Meinung, nach welcher es „sehr leicht möglich" sein soll, daß die „Kopfeinschlüsse ge-

1) l. c. S. 479.

wissermaßen die erste Grundlage für das Zustandekommen von Gelenkkörpern abgeben", eine wirkliche Unterstützung für jene Ansicht von einem Pfeilerzellenginglymus abgibt. WALDEYER hat früher[1]) die Frage nach diesem Gelenk offen gelassen für die radialen Eigenbewegungen der Pfeilerzellen um eine spirale Achse, während er sie für die seitlichen Verschiebungen der Pfeilerköpfe bereits für ausgeschlossen erklärt hat. Aber auch für die Annahme radialer Eigenbewegungen liegen nach meinen obigen Ausführungen keine wirklichen Gründe vor.

Vielmehr halte ich dafür, daß sich, abgesehen von jenem Nachweis einer Kittsubstanz zwischen den Pfeilerköpfen auch sonst aus ihrer Struktur sowie ihrer gegenseitigen Stellung und Befestigung auf der Membrana basilaris gewisse Anhaltspunkte gewinnen lassen, welche für die Auffassung eines von den beiden Pfeilerzellreihen gebildeten festen, wenn auch federnden Stützbogens zur Aufhängung der Haarzellen geeignet erscheinen können.

Bekanntlich haften die Pfeilerzellen mit ihren basalen Flächen der Basilarmembran so fest an, daß sie leichter im schlanken, aber starkfaserigen Mittelstück durchbrechen als in ihrer unteren Haftfläche sich lösen. Andererseits sind sie auch oben mit ihren Köpfen gegenseitig durch Kittmasse verklebt. Die Schwingungen der Basilarmembran werden also wohl weniger Drehbewegungen der Außenpfeilerköpfe in den entsprechend hohlen Innenpfeilerkopfstücken bewirken als Spannungsänderungen der schlanken Mittelstücke beim Auf- u. Niederschwingen der Basilarmembran verursachen können. Ob es hierbei zu irgend welchen, auch nur leichten Durchbiegungen kommen kann, muß sehr fraglich erscheinen, wenn man sich nicht etwa die Schwingungen der Membrana basilaris als gröbere Bewegungen vorstellt. Der Möglichkeit zu Durchbiegungen würden zuerst und leichter die schlanken und langen Außenpfeilermittelstücke ausgesetzt sein, da diese mehr der *Mitte und also auch der stärker schwingenden Stelle der Basilarmembran* zu aufsitzen und außerdem in schiefer Richtung nach oben und axial an die *Innenpfeilerzellen* herantreten, welche erstens gedrungener und zahlreicher wie die Außenpfeilerzellen sind, welche zweitens an dem *weniger stark sich bewegenden Anfangsstück* der schwingenden Grundmembran befestigt sind und somit schon

1) STRICKERS Handbuch d. Gewebelehre. S. 933.

Digitized by Google

durch *Lage und auch steilere Stellung* die Einbiegungen der Außenpfeilermittelstücke auszugleichen und schneller in die anfängliche Ruhelage zurückzubringen geeignet erscheinen. Dazu kommt, daß diese den Schwingungen ausgesetzten und sie aufnehmenden Pfeilerzellen *inwendig durch Faserzüge ausgesteift sind*, welche, soweit sie *basale Stützsysteme* innerhalb der Zelle bilden, auch sicherlich außer der einen Funktion, die Haarzellen mit tragen zu helfen, noch eine Vorrichtung abgeben, *stärkere Verbiegungen der schlanken Mittelstücke* auszuschließen. Die *Basalkörper* sowohl wie die *Kopfkörper* würden demnach wie *innere Widerlager* der Pfeilerzellen erscheinen, an denen die angestemmten Fasern einen gewissen Halt finden, bevor sie in der oberflächlich ausgespannten Zellmembran enden. Die Kopfeinlagen, die ich überall bei Meerschwein, Maus, Hund und Katze gefunden habe, zeigen somit in ihrer auffallend starken und dichten Ausbildung die Stelle, wo der Druck der Außenpfeilerzelle auf den Kopfteil des Innenpfeilers übertragen wird und zugleich der Faserstab des Außenruders zur besonderen Stütze der äußeren Haarzellenreihen abgeht. Zu überlegen würde bleiben, inwieweit dieses besprochene von der Basis der Pfeilerzellen aufstrebende Stützfasersystem außerdem noch eine *federnde Spannung* besitzt, die weniger aus ihrer eigenen Masse wie aus der Zusammenfügung beider Pfeilerzellreihen zu einem spitzwinkligen Bogen stammen würde, eine Spannung also, die sowohl die Tragkraft des von den Pfeilerzellen gebildeten inneren Tunnels erhöhen müßte als auch eine gewisse *Hemmung auf die nachschwingende Masse der Basilarmembran* ausüben könnte. Auf diese letztere Frage werde ich weiter unten nochmals zurückkommen, wo, wie sich zeigen wird, aus der Zusammenfügung der DEITERSschen Zellen zu einem besonderen und direkt der Einfassung der Haarzellen dienenden Apparat auch federnde Einrichtungen für das ganze CORTIsche Organ ableitbar werden. Daß der von den Pfeilerzellen gebildete Bogen eine innere Spannung besitzt und einen dementsprechenden Zug oder Druck auf die Basilarmembran ausübt, ist wohl direkt aus den bekannten Erscheinungen zu entnehmen, die oft am fixierten Schneckengang eine Einwölbung der Membrana basilaris zeigen, welche je nach der schonend und langsam oder stürmischer einsetzenden Fixierung eine kaum merkliche oder hochgradige geworden sein kann.

Von VOLTOLINI ist der Bogen der Pfeilerzellen mit einem

Menschen verglichen worden, der mit gespreizten Beinen und gehobenen Armen auf der Grundmembran stehen würde; den gespreizten Beinen, von denen das äußere als das stärker abgespreizte die Neigung der äußeren Pfeilerzellen und jene Hemmungsrichtung wiedergeben würde, entsprächen dann die unteren Abschnitte, die Fuß- und Mittelstücke der CORTIschen Zellen, den gehobenen Armen diejenigen seitlichen Fortsätze, welche bei der Innenpfeilerzelle als äußerst kurze Innenschäbel in die innere Haarzellenreihe, bei den äußeren Pfeilern als lange Außenruder in das Gebiet der äußeren Haarzellen eindringen. Sehr ungleich lang und gehoben wären also die Arme, an denen die Haarzellen in jetzt genauer zu beschreibenden Weise angehängt sind.

Stützapparat der inneren Haarzellen.

In einer schräg abwärts geneigten Richtung dringen die *Innenschnäbel der Innenpfeilerzellen* in eine jedesmal *zwei inneren Haarzellen entsprechende Lücke* ein, ungefähr $^1/_3$ Durchmesser des Haarzellenquerschnittes tief; sie erscheinen wie kurze, häckchenförmige Stümpfe, welche zwei seitliche, ausgerundete Flächen zur Anlagerung der oberen Enden der rundlichen Haarzellen besitzen und von unten her durch einen nur kleinen Teil jener von der Basilarmembran her aufsteigenden Stützfasern verstärkt sind. (Fig. 1—4 vom Meerschwein, Fig. 12 von der Maus, Fig. 11 vom Hund). Mit diesen Innenschnäbeln liefern die Innenpfeilerzellen gewissermaßen seitliche Backen, welche einen geringen Teil der inneren Haarzellen jedesmal umfassen und halten. Im übrigen sitzen die Innenschnäbel durchaus unsymmetrisch am axialen Kopfteil der Innenpfeilerzellen (s. Fig. 7 vom Meerschwein, Fig. 15 von der Katze), was am genauesten bisher von RETZIUS (l. c. S. 283) beschrieben worden ist; oft sitzt der fragliche Innenschnabel genau in der Mitte einer Pfeilerzelle, oft wird er von zwei Pfeilerzellen je zur Hälfte gebildet, selten soll er auch, wie RETZIUS hervorgehoben, überhaupt einer betreffenden Pfeilerzelle fehlen. Nie erreicht aber der Innenschnabel mit seiner Höhe den freien Kopfrand der anliegenden Haarzelle; diesem liegt allein der entsprechend konkave Rand von der Kopfplatte einer Zelle an, welche ich als *innere Phalangenzelle* bezeichnen will, weil sie nach dem Typus der äußeren Phalangenzellen oder DEITERSschen Zellen mit ihrer

Digitized by Google

phalangenförmigen Kopffläche jedesmal in den Zwischenraum zweier Haarzellen eingreift (Figg. 7, 9 Taf. II u. Fig. 16 Taf. III), wobei sie sich, den Innenschnabel überdeckend, mit ihrem äußeren leicht gerundeten Rand in eine geringe Delle an der inneren Fläche der Innenpfeilerkopfplatte einsenkt (die Ansicht von oben zeigt Fig. 7 beim Meerschwein, Fig. 11 die Ansicht von unten beim Hund, die Überlagerung des Innenschnabels Fig. 15 bei der Katze). Das untere Ende dieser inneren Phalangenzelle ist bisher unbekannt geblieben, während seine obere phalangenförmige Platte mit dem Innenschnabel, der aber in Wirklichkeit unter ihm liegt, verwechselt worden ist. So hat z. B. WALDEYER (l. c. S. 934) angegeben, daß die Kopfplatte der Innenpfeiler „fast phalangenförmig zwischen je zwei inneren Haarzellen vorspringt"; auch die Zeichnungen von RETZIUS geben diesen schwierigen Teil der Lamina reticularis in ihrer Zusammensetzung aus den verschiedenen Kopfflächen nur ungenau wieder.

Was nun das untere Ende der inneren Phalangenzellen anbetrifft, so zeigen die Figg. 9, 10 u. 18 die Lagerung und Tiefenausdehnung dieser fraglichen Zelle in drei verschiedenen Einstellungshöhen eines und desselben Schnittes. Fig. 9 gibt den oberflächlichen Anteil an der Bildung des inneren Teiles der Lamina reticularis wieder, während Fig. 10 in zwei Zellen der betreffenden Reihe die Tiefenlage des Kerns anzeigt. Von WALDEYER ist das Lager kleiner Zellen axialwärts der Innenpfeiler und unterhalb der inneren Haarzellen früher als *Körnerschicht* bezeichnet worden; von den Kernen dieser Gegend sind die unmittelbar den inneren Pfeilern anliegenden diejenigen der inneren Phalangenzellen, die im übrigen auf der Membrana basilaris mit einer geringen Fußfläche stehen und andererseits oberhalb ihres Kerns bereits deutlich mit den inneren Haarzellen alternieren, wobei sie ein wenig dreieckig in ihre Zwischenräume eingepreßt sind (Fig. 10 vom Hund). Bei erwachsenen Hunden habe ich bisher die inneren Phalangenzellen am deutlichsten und sichersten nachweisen können; sie sind hier deutlich von einer Zellmembran umschlossen und nach oben hin lange Zellgebilde, deren Protoplasma jedoch, wie überhaupt bei den sogenannten Körnern des CORTIschen Organs durch Fixierungsmittel nur als ein grobvakuolisiertes resp. grobbalkiges Gerüstwerk erhalten bleibt. Bei anderen Tieren wie Katze, Maus und Meerschwein kommt es deshalb meistens infolge

Digitized by Google

einer sehr zarten und gegen Fixierungsflüssigkeiten sehr empfindlichen Membran zu einem Platzen und Zerreißen derselben, wodurch sich jene unregelmäßigen Räume und Maschen erklären würden, welche an der Eintrittstelle der marklosen Nervenfäserchen der Hörnerven in das Epithel des Schneckenganges vorhanden sind und zu einem Teil als zersprengte Zellenreste die ersten plexusartigen Verzweigungen des Hörnerven umfassen. Zu dieser Ansicht bestimmen mich nicht allein die verschiedene Reaktion dieser fraglichen Zellen bei verschiedenen Tieren gegen dasselbe Fixierungsmittel z. B. die ZENKERsche Lösung oder mein Chrom-Formalineisessiggemisch, sondern auch die allmählige Umwandlung der grobvakuolisierbaren Phalangenzellen und übrigen Zellgebilde der Körnerschicht aus den schlanken und kompakten Zellen, die man hier beim relativ unausgebildeten Organ vorfindet. So besitze ich Präparate von der Schnecke drei Tage alter Kätzchen, welche von der Spitze bis zur Basis die hier nur kurz angegebenen Unterschiede in dem protoplasmatischen Aussehen der inneren Phalangenzelle demonstrieren, worauf ich in der späteren Abhandlung über die Entwicklung des CORTIschen Organs und seiner Stützeinrichtungen genauer eingehen werde. Ausschließen kann ich allerdings nicht, ob es nicht wenigstens teilweise beim Meerschwein, Maus uud Katze schon zu einer vitalen Auflösung der Zellmembran infolge der reichlichen Durchsetzung mit Nervenmasse kommt, sodaß also die verzweigten Zellbalken als Differenzierungswerte einer früher vollständig von einer Membran abgeschlossenen Epithelzelle und nicht als Fixierungsprodukte aufgefaßt werden müßten. Beim Hund ist jedenfalls die Zellmembran überall auch nach unten zu vorhanden und nicht nur wie sonst allgemein gültig in der Höhe der Lamina reticularis als Phalangenplatte erhalten.

Die inneren Phalangenzellen sind also beim erwachsenen Tier nach meinen Beobachtungen sehr schwach gebaute schlanke Zellen oder schmale strangartige Bildungen, die, wie auch an axialen Längsschnitten durch die Schnecke zu beobachten ist, an den Seiten der inneren Haarzellen liegen und mit ihnen regelmäßig alternieren; sie liegen hierbei der äußeren Hälfte ihrer Seitenfläche an, um nach oben zu in achsialer Krümmung in die breiter sich ausladende Phalangenplatte überzugehen (Fig. 1—4 vom Meerschwein, Fig. 12 von der Maus, Fig. 11 vom Hund). Zu

Digitized by Google

intracellulären Faserbildungen kommt es nach meinen bisherigen Beobachtungen nicht; vielmehr erscheint als eine *Stütze dieser an und für sich schwachen Zellen der Innenschnabel der Innenpfeiler und sein Stützfasersystem, welches von unten her unter den peripheren Teil der Phalangenplatte eingreift und hierdurch außer seiner oben erörterten Bedeutung von Seitenklammern der inneren Haarzellen noch eine umfangreicher wirkende Tragvorrichtung der inneren Haarzellen abgibt.* Im übrigen dienen der *oberen Befestigung* der inneren Haarzellen noch die seit DEITERS bekannten konkaven *Ausschnitte an dem axialen Rand der Kopfplatte der Innenpfeiler,* die eine Verkittung mit dem anliegenden *äußeren Umfang* der inneren Haarzellen zeigen.

Von *innen* her bewirken das Gleiche besondere Zellen, die mit ihrem Kern wiederum nach der Form der inneren Phalangenzellen in die WALDEYERsche Körnerschicht hinabreichen und auch dann unten auf der Membrana basilaris stehen. Mit ihrem oberen Ende geben sie eine schmale Zeichnung in der Lamina reticularis der Katze, Maus und des Meerschweins (Fig. 7), eine etwas breitere Felderung dagegen beim Hund (Fig. 9 auf Tafel II). Die einzelnen felderartigen Kopfenden erreichen teils mit größeren konkaven Ausschnitten den entsprechenden Umfang der inneren Haarzellen, teils mit kleineren die Ränder der Phalangenplatten der inneren Phalangenzellen. Ich will diese beschriebenen *Stützzellen für den inneren Kopfumfang der Haarzellen als Grenzzellen* bezeichnen, da sie allein von den Zellen auf dem inneren Abschnitte der Membrana basilaris noch die Haarzellen umgreifen. Das, was ich Grenzzellen nenne, hat RETZIUS bereits andeutungsweise beim Menschen folgendermaßen beschrieben (Das Gehörorgan der Wirbeltiere II, S. 347): „An der Innenseite der inneren Haarzellen bemerkt man einen streifigen schmalen Strang oder Streifen, welcher, zusammen mit den anstoßenden inneren Fortsätzen der Pfeilerzellen, die Haarzellenenden umrahmt, wie am besten an den Präparaten zu sehen ist, bei welchen die Haarzellen ausgefallen sind (Tafel XXXVII, Fig. 9 i h); der fragliche Streifen (*sb*) gehört offenbar den oberen Enden der nach innen von ihm befindlichen Zellen an.“ Eine deutliche Gliederung in einzelne Epithelzellenfelder zeigt jedoch die RETZIUSsche Abbildung nicht; ebenso ist die Trennung von den inneren Phalangenzellen nicht gelungen. Auch beim Kaninchen (l. c. S. 293) beschreibt RETZIUS nur einen

Digitized by Google

„schmalen glänzenden Streifen" als oberes Ende von inneren Stützzellen. Ihnen folgen dann die allmählig niedriger werdenden Zellen, welche in das Epithel des Sulcus spiralis überführen und am Anfang die oberen Enden der Grenzzellen bedecken und jene längeren Zellplatten bilden, welche ich z. B. auf Fig. 5 vom Meerschwein abgebildet habe. Zu erwähnen ist noch, daß die Grenzzellen und die ihnen nach innen zu folgende Zellreihe vielfach gestielte Füße zeigen, welche besonders deutlich beim Meerschwein ausgebildet sind und leichter die Stützwirkung dieser Zellen auf der axialen Seite der inneren Haarzellenreihe hervortreten lassen (Fig. 1—4).

Durch die beschriebene ringförmige Angliederung einer komplizierteren Reihe von Zellen (der inneren Pfeilerzellen, der inneren Phalangenzellen und der Grenzzellen) an die jedesmaligen Kopfflächen der inneren Haarzellen wird also durch entsprechende Verkittung ihrer Kopfenden ein Apparat zusammengesetzt, welcher mit zahlreichen Ringfassungen die Köpfe der inneren Haarzellen einschließt, die somit an dieser Stelle wie aufgehängt erscheinen. Infolge der *dichten Anfügung* dieser ganzen Reihe von lochbildenden Kopfplatten an die *inneren Pfeilerzellen* und besonders an jene *beiden Stellen*, wo einmal der von unten gestützte *Innenschnabel* abgeht und andererseits die über den *Kopf des Außenpfeilers hinweg gebogene Kopfplatte des Innenpfeilers ihren Ausschnitt zur Fassung des inneren Haarzellenkopfes trägt*, erscheint diese Art der Befestigungsweise der inneren Haarzellenreihe als eine sehr feste und sichere, zumal da das durchgehende Fasersystem der Innenpfeilerkopfplatte wegen seiner *Spannung* eine *beträchtliche Tragkraft* für diese innere Reihe von Sinneszellen abgeben muß.

An ihrem *unteren Ende* sind die inneren Haarzellen von einer Zellmasse umgeben, welche gegenüber diesen oberen Einrichtungen kaum als deutlicher Stützapparat auffällt, aber immerhin einen gewissen *unteren Halt* für jene Zellen bedingen kann. Es handelt sich hierbei um die *mittleren Abschnitte der inneren Phalangenzellen und der Grenzzellen, die sich mit ihrem weichen und am fixierten Präparat grob vakuolisierten und zerklüfteten resp. zersprengten Protoplasma den inneren Haarzellen seitlich und unten anschmiegen.* (Figg. 1—4 von Meerschwein, Fig. 12 von Maus, Figg. 11, 16 von Hund). Dadurch kommt eine Formation von grobmaschigem Charakter mit eingestreuten Zellkernen, die WALDEYERschen

Digitized by Google

Körner, zustande, die besonders dann eine große Schwierigkeit für die Beurteilung enthält, wenn, wie auch an meinen Präparaten durchweg vorhanden, eine deutliche und dunkle Färbung der Zellgrenzen infolge jener Zerklüftung nicht hervortritt. Ich kann daher meine Beobachtungen über die WALDEYERsche Körnerschicht resp. über das untere Ende der inneren Haarzellen noch nicht für vollständig abgeschlossen halten. Immerhin muß ich jedoch aus meinen bisherigen Untersuchungen soviel folgern, daß die inneren Haarzellen keine sogenannten „Basalfortsätze", Dendriten oder irgend welche anderen Seitenzweige von eigenem Protoplasma haben. Denn erstens habe ich in wiederholten Fällen die inneren Haarzellen in *frischem Zustande in Humor aqueus stets ohne jeden Fortsatz* gefunden, vielmehr überall von einer runden, kontinuierlichen und unverletzten *Zellmembran* umgeben; und zweitens habe ich auch an meinen fixierten Präparaten die glatte und rundliche Kontur einer Zellmembran am unteren Ende der Haarzellen deutlich gesehen, sofern es sich um dicht gebaute und von feinkörnigem Protoplasma gleichmäßiger angefüllte innere Haarzellenformen handelte. (Fig. 16 Tafel III).

Bei diesem Typus des Fixierungsbildes läßt sich irgend ein basaler Fortsatz mit Sicherheit ausschließen. Dann kenne ich eine zweite Form von inneren Haarzellen, die am basalen Zellende eine Reihe wandständiger und verschieden grober Vakuolen zeigt, sodaß wie beim Fixierungsbild von Spinalzellen eine Anzahl feinerer oder gröberer Fortsätze scheinbar entstehen. Teilweise läßt sich bei diesem grobvakuoligen Typus der Abschluß einer feinen Zellmembran noch durchaus erkennen. Jedoch gibt es weitere Zellen mit sehr großen Vakuolen und dem entsprechenden groben Protoplasmabalken, welche nur schwer von den übrigen anliegenden Teilen der Zellen der Körnerschicht mit ebenfalls grob vakuolisiertem Protoplasma zu unterscheiden sind. Wahrscheinlich entsprechen diesen dritten Formen, wenn nicht schon dem zweiten Typus, die menschlichen inneren Haarzellen, von denen RETZIUS (l. c. S. 351) angibt: „es ist besonders schwer, das untere Ende dieser Haarzellen isoliert und intakt zur Ansicht zu bekommen; gewöhnlich erscheint es gezackt, gleichsam eingekniffen, kantig; nur selten sieht man es abgerundet; am unteren Umfang desselben trifft man feine variköse Nervenfäserchen, welche das Ende umstricken. Die eigentliche untere

Digitized by Google

Endigung dieser Fäserchen konnte ich jedoch nicht mit einiger Sicherheit darlegen." Bei dieser letzteren Form innerer Haarzellen untere Fortsätze auszuschließen, ist also aus jenem obigen Grund unmöglich, weshalb ich in diesem Punkte meine Beobachtungen nicht für abgeschlossen halte, solange ich keine Fixierungsmittel habe, um gleichmäßig unvakuolisierte Formen der inneren Haarzellen zu erhalten. Diese Inkonstanz in der chemischen Zusammensetzung des inneren Haarzellenprotoplasmas und die deshalb so ungleiche, vielfach lösende Wirkung der Fixierungsmittel lassen aber andererseits sehr wohl den naheliegenden Schluß zu, daß es *höchst wahrscheinlich fortsatzreiche innere Haarzellen, oder Haarzellen mit irgend einem basalen Fortsatz überhaupt nicht gibt.* Es kommt hinzu, daß die Körnerzellen mit ihrem Protoplasma zum großen Teil ähnlich auf Fixierungsmittel reagieren wie die dritte Form der in sie eingefügten inneren Haarzellen, wodurch eine Verwechselung eigener und fremder und dazu noch scheinbarer Fortsätze außerordentlich leicht werden kann. Die Abbildungen von GOTTSTEIN und WALDEYER, welche gestielte innere Haarzellen zeigen, kann ich deshalb nicht für beweiskräftig halten.

Im übrigen schließe ich mich in meiner Auffassung der Körner RETZIUS an, der von ihnen bei Schilderung der menschlichen Schnecke angibt, daß sie „nicht nervöse Elemente" wären, „sondern mit dem ihnen angehörigen Protoplasma nur indifferente nicht selten etwas verzweigte Epithelzellen darstellen, welche die Nervenfasern zwischen sich eingebettet tragen", wozu ich zu bemerken habe, daß mir die Seitenzweige dieser Zellen aus jenen obigen, bei der Beurteiluug der inneren Haarzellenformen erörterten Gründen noch besonderer Untersuchungen und Beweise bedürftig erscheinen. Wenn RETZIUS dann weiter ausführt, daß er „hie und da einzelne solche Zellen als dünne körnige 'Fadenzellen' von der membranösen Wand bis zur Epitheloberfläche habe emporragen gesehen, wo sie, wie bei der Katze und dem Kaninchen, mit langer und breiter platter Endfläche nach innen von den inneren Haarzellen" endigen, so stimmen hiermit im allgemeinen meine Beobachtungen überein. Doch ist RETZIUS die besondere Anordnung und Einfügung der inneren Phalangenzellen und Grenzzellen in den Stützapparat der inneren Haarzellen hierbei verborgen geblieben.

Stützapparat der äußeren Haarzellen.

Komplizierter und eindrucksvoller noch wie an den inneren Haarzellen erscheinen die Stützvorrichtungen, welche sich an den drei resp. vier Reihen von äußeren Haarzellen vorfinden. Zu dem sie tragenden System von *faserhaltigen Stützzellen* gehören, wie auch bei den inneren Haarzellen, zunächst die *Cortischen Pfeilerzellen*. Nicht nur sind wie bei diesen die *inneren*, sondern auch die *äußeren Pfeiler direkt* beteiligt; hinzukommen die durch die Untersuchungen von Deiters bekannt gewordenen und nach ihm benannten *Deitersschen Zellen*, welche in gleicher Zahl mit den äußeren Haarzellenreihen im Cortischen Organ entwickelt werden.

Beim *Stützapparat der äußeren Haarzellen* werde ich unterscheiden, erstens einen *Oberflächenapparat von ringförmigen Fassungen für die Kopfenden der Haarzellen*, welcher aber durch *besondere Stützfasern* von *unten her* noch gehalten wird, und zweitens eine reine *basale Vorrichtung*, welche von der Membrana basilaris her eine besondere und wichtige Stütze für den *unteren, den akustischen Nervenendhügel haltenden Teil jener Sinneszellen* abgibt. *Erstere* Einrichtung ist in der *Lamina reticularis* v. Köllikers enthalten, welche nach unten mit den *Fasersystemen der Pfeilerzellen sowohl wie der Deitersschen Zellen* zusammenhängt; letztere ist dagegen *ausschließlich den Deitersschen Zellen* eigen und in den durch Deiters entdeckten und später außer von Gottstein und Waldeyer nur noch von Katz gewürdigten *„Verbindungsstielen“* gegeben.

Die *Lamina reticularis* erscheint zunächst als eine höchst kompliziert angeordnete netzförmige Zeichnung an der Oberfläche des Cortischen Organs, soweit sie den Bereich der Haarzellen umfaßt; sie rührt, wie seit Böttcher und Deiters bekannt, von der eigentümlich verschränkten Anordnung jener Stützzellen her, welche mit den Rändern ihrer besonders geformten Kopfstücke so ineinandergreifen, daß regelmäßig rundliche Lücken und Reihen von solchen Lücken entstehen, in welchen die Kopfenden der Haarzellen, speziell hier im Bereich der sogenannten Lamina reticularis externa diejenigen der äußeren Haarzellen, befestigt sind. Was ihre gegenseitige Flächenverklebung und Befestigung verursacht, dürfte dem entsprechen, was beim gewöhnlichen Epithel als Schlußleistennetz bezeichnet wird und hier nur in

besonderer Mächtigkeit und Tiefenausdehnung angeordnet erscheint.

Die ovalen Lücken, in welchen die *ersten äußeren Haarzellen* ringartig gefaßt sind, werden innen von den *äußeren ein wenig konkaven Rändern der Kopfplatten der inneren Pfeilerzellen*, *außen* von den axialen Rändern der *Phalangen der 1. DEITERSschen Zellreihe* gebildet. Letztere bilden in regelmäßiger Weise die äußere Ringfassung der 1. äußeren Haarzelle, erstere dagegen stoßen ungleichmäßig an die axiale Kopffläche jener Haarzelle an, sodaß immer ungleich und wechselnd große Ausschnitte zweier Kopfplatten an einer inneren Ringfassung Anteil haben. Dieses wird erklärlich, wenn man berücksichtigt, daß die einzelnen Haarzellen durch die Breite der *Außenruder der äußeren Pfeilerzellen*, welche ihre *Seitenfassungen* geben, an jenen ihnen dann asymmetrisch anliegenden Kopfplatten verschoben werden.

An der Zusammensetzung der *Ringfassungen für die zweite äußere Haarzellenreihe* beteiligt sich von den CORTIschen Zellen nur noch das *Außenruder* des äußeren Pfeilers; es bildet den *axialen* Abschnitt. An den *beiden Seiten* liegen die einander zugekehrten leicht konkaven Flächen je zweier *Phalangen*, welche der *1ten DEITERSschen Zellreihe* angehören, sodaß also immer einer ersten Phalange zwei äußere Haarzellen der 2ten Reihe seitlich angefügt werden. Von *außen* her endlich reichen die axialen Ränder der *zweiten Phalangenreihe* in die einzelnen Zwischenräume je zweier Phalangen der ersten Reihe hinein, sodaß also jede zweiten äußere Haarzelle von je einem Außenruder, je einer zweiten Phalange und immer zwei Phalangen der ersten Reihe ringförmig umgriffen und gehalten wird.

Die Lücken für die *dritte Reihe der äußeren Haarzellen* endlich liegen *zwischen* den *einander gegenüber liegenden schmalen Rändern einer ersten Phalange* und dem entsprechenden *Kopf der dritten DEITERSschen Zelle* („rechteckiger Schlußrahmen") sowie den *einander zugewandten Längsseiten der zweiten Phalangen*, die wiederum so wie die erste Phalangenreihe die einzelnen Haarzellen der zweiten Reihe hier diejenigen der dritten Reihe von einander entfernt hält. (Fig. 7 vom Meerschwein, Fig. 13 von der Katze, Fig. 8 von der Maus). Zum Unterschied von den beiden ersten Phalangenreihen, mit denen die Reihen der zweiten und dritten äußeren Haarzellen alternieren, zum Unterschied auch von den

Außenrudern, die immer von den einzelnen Haarzellen der ersten äußeren Reihe getrennt sind, berühren sich direkt die Seitenränder jener „Schlußrahmen", sofern nicht zwischen ihnen eine vierte Reihe von äußeren Haarzellen, wie z. B. beim Hund, auftritt. Sonst bildet also wie bei Meerschwein und Maus diese dritte Reihe von DEITERSschen Zellen den Schluß in der durch die eingefügten Haarzellenreihen verursachten Zeichnung der sogenannten Lamina reticularis; sie erscheinen zum Unterschied von den fingergliedähnlichen Kopfflächen der zweiten und dritten DEITERSschen Zellen oder den Phalangen ungefähr rechteckig, weil sie nicht mehr durch eingefügte Haarzellen konkave und von einander gedrängte Seitenränder haben, weshalb sie von DEITERS als „rechteckige Schlußrahmen" bezeichnet worden sind. Natürlich enthalten sie am axialen Rand zwei Arten konkaver Ausschnitte, von denen die größeren den dritten Haarzellen, die kleineren den Außenrändern der zweiten Phalangenreihe entsprechen. Wie Fig. 7 außerdem zeigt, besteht hier wiederum, wie bei den Außenrändern der Innenpfeilerkopfplatten eine asymmetrische Verteilung dieser Ausschnitte an der Reihe jener Zellenden. Eine gewisse Variation in der Zeichnung der Lamina reticularis kann übrigens, wie z. B. bei der Katze, die sonst zu den Tieren mit 3 äußeren Haarzellenreihen gehört, dadurch entstehen, daß die Phalangen der zweiten DEITERSschen Zellen außerordentlich lang werden und dann weit hinein zwischen die auseinandergewichenen Ränder der „Schlußrahmen" reichen (Fig. 13 Tafel III), die dann auch in dieser Hinsicht noch weniger rechteckig erscheinen.

Auf meinen Präparaten erscheint die Zeichnung der Lamina reticularis als ein tiefschwarzes Netz, welches in der eben ausführlicher angegebenen Weise den oberflächlichen Enden aller der verschiedenen Stützzellen als Kittmasse eingefügt ist. Je nach dem Grad der Differenzierung erscheint nun aber das Netzwerk an gewissen Stellen in ungleicher aber regelmäßiger Weise feiner oder gröber. Wie Fig. 7 vom Meerschwein zeigt, finden sich einmal seitlich von den axialen Rändern der mit einander verschränkten Kopfflächen der drei DEITERSschen Zellen und andererseits an den ihnen alternierend eingefügten seitlich-äußeren Rändern der Außenruder resp. den nach außen gewandten Seiten der Haarzellenenden dunklere und vor allem breitere Streifen von

Digitized by Google

Zwischenmasse. Diese auffallende Erscheinung habe ich noch auf Fig. 13 bei der Katze, Fig. 8 bei der Maus dargestellt; bei beiden sind geringe Besonderheiten zu bemerken, die einmal eine ungleiche Form und relative Größe der einzelnen Zellendflächen in der Lamina reticularis zeigen und andererseits auch eine etwas andere Verteilung von dickeren Streifen erkennen lassen.

Die *Ursache dieser Erscheinung* in der Lamina reticularis ist mannigfaltig und beruht keineswegs auf einer einfachen Verdickung und Vermehrung der Kittsubstanz an einzelnen Zwischenräumen jener Zellen. Erstens ist eine bestimmte *Überlagerung von Zellrändern* vorhanden, die rein von der Fläche her und mit schwächeren Okularen und auf weniger stark differenzierten Präparaten gesehen, eine *scheinbare Verbreiterung von intercellulärer Kittmasse* zeigen muß. Eine Untersuchung mit starken Okularen wie 8 und 12 läßt dagegen bei genauen Tiefenbeobachtungen erkennen, daß der breitere Zwischenstreifen keineswegs der Oberfläche allein angehört, sondern in verschieden abgeschrägter Richtung längs den entsprechenden Zellflächen eine gewisse Tiefe hindurch sich fortsetzt. Untersucht man in gleicher Weise eine Reihe stark differenzierter Präparate von Flachschnitten durch die Oberfläche eines CORTIschen Organs, so erkennt man, daß die mehr in der Tiefe befindliche Kittmasse nur noch durch hellere Färbung gezeichnet ist, die rein an der Oberfläche dagegen verteilte intensiv schwarz ist und jetzt in Form gleichmäßig dicker Linien erscheint, die sich von dem Schlußleistennetz zwischen den übrigen Zellendflächen außerhalb des Haarzellenbezirks nur noch durch eine stärkere Tingierung und etwas größere Dicke unterscheiden, während die übrige, der Tiefe zu ausgebreitete und sich schneller entfärbende Intercellularmasse bei jenen Zellen überhaupt nicht vorkommt.

Die Form der Überlagerung jener Ränder der Außenruder, der beiden Phalangen und der sogenannten Schlußrahmen habe ich in Fig. 7 an der rechten Seite der Lamina reticularis vom Meerschwein wiedergegeben. Die eingefügten Haarzellen sind fortgelassen worden, sodaß die Art und Weise klar wird, wie hier die *freien Ränder*, d. h. also die *Haarzellenflächen jener Stützzellen den Kopfrand der Haarzellen untergreifen. Es sind mit anderen Worten die oberen Haarzellenenden gewissermaßen in basilarwärts ein wenig enger werdenden Ringfassungen befestigt.* Diese Art der Ein-

Digitized by Google

fügung zeigen natürlich auch axiale Längsschnitte durch die Schnecke, sofern nur ein genauer und natürlicher Situs zur Fixierung gekommen ist. Für die Sicherheit der Kopffassung ist das von entschiedener Wichtigkeit.

Allgemein sind nun im Bereich jener als Lamina reticularis erscheinenden Kittflächen die anliegenden Zellmembranabschnitte jener Stützzellen noch von einer besonderen Dichte, die sich an meinen Präparaten durch eine etwas andere und intensivere Färbung von den übrigen Teilen der Membranen jener Stützzellen unterscheidet. Diese oberflächlichen Stellen sind bei DEITERSschen Zellen von v. SPEE treffend als *Kopfreifen* bezeichnet worden. Einen unvollständigen Reifen würde also auch der seitlich-äußere Rand des Außenruders besitzen, sowie überhaupt alle jene Flächen der besonderen Stützzellen, die man am einfachsten ihrer Bedeutung nach als *Haarzellenflächen* bezeichnen könnte.

Durch eine *weitere Einrichtung* noch sind außerdem diese *Haarzellenflächen der Stützzellen* ausgezeichnet. Sie liegen zum kleinen Teil an der Oberfläche, zum andern Teil bereits in der Tiefe des CORTIschen Organs. Es finden sich nämlich längs jener Flächen dichtere Zellbildungen, welche auf meinen Präparaten infolge gleicher Färbung den Kopf- und Basalkörpern der CORTIschen Pfeilerzellen ähnlich sind und verschieden tief in das Innere der Zellen vordringende besondere Verdickungen der Zellmembran zu sein scheinen.

Von besonderer Wichtigkeit müssen diese inneren Randpartien aller jener Kopfreifen erscheinen, weil sie die *oberen Ansatzflächen von Stützfasersystemen sind,* die aus der Tiefe des CORTIschen Organs zur Oberfläche seiner Lamina reticularis emporsteigen. Die unteren Enden dieser Fasersysteme stehen mit alleiniger Ausnahme der Fasern der Außenruder auf der Membrana basilaris (Figg. 1—4 und 11 u. 12). Die Art und Weise ihrer Befestigung ist die gleiche wie die für die Pfeilerzellen näher beschriebene. Denn sieht man von den speziellen Fußbildungen ab, die bei diesen beiden Stützzellen so mächtig erscheinen und durch basale Einschlußkörper ausgezeichnet sind, so muß natürlich die allgemeine Art ihrer Verkittung auf der Fläche jener Grundmembran auch für die DEITERSschen Zellen wie überhaupt für alle die Zellen gelten, welche mit der Membrana basilaris durch Verkittung ihrer Zellgrundflächen fest verbunden sind.

Die *tiefen Fasersysteme der Lamina reticularis*, auf die ich jetzt näher eingehe, sind *einmal* solche der beiden *CORTIschen Pfeilerzellen* und zweitens solche der *DEITERSschen Zellen*. Bei den *CORTIschen Zellen* sind es die bekannten *Fasern des Außenruders* und der *Kopfplatte des Innenpfeilers;* letztere stützen den axialen Rand der *ersten*, jene den gleichen Rand der *zweiten äußeren Haarzellenreihe*. Wie schon erwähnt, geht das letztere System aus dem Kopf des Außenpfeilers hervor; wie später gezeigt werden soll, ist es auch durch eine außerordentlich frühe Ausbildung bei der Entwicklung des CORTIschen Organs charakterisierbar. Mit der Basilarmembran steht es nach meinen bisherigen Beobachtungen nicht in direkter Berührung.

Im besonderen werde ich aus diesem letzteren Grunde in den Faserbildungen des allgemeinen Stützapparates der Haarzellen, die ich vorhin zusammen als *tiefe Fasersysteme der Lamina reticularis* bezeichnet habe, *eine Gruppe von Fasersystemen* unterscheiden müssen, welche *direkt von der Grundmembran bis zum entsprechenden Kopf einer Haarzelle* reicht. Diese *durchgehenden Fasersysteme* finden sich ausschließlich teils in der *Innenpfeilerzelle*, teils in den drei *DEITERSschen Zellen*. Die Außenpfeiler nehmen also in dieser Hinsicht jene Sonderstellung nach meinen bisherigen Beobachtungen ein.

Die *durchgehenden Fasersysteme der DEITERSschen Zellen* bilden im Innern derselben und zwar *zusammen* mit dem später genauer zu beschreibenden *basalen Stützkelch der Haarzellen* zunächst einen aus mehreren Fasern zusammengesetzten *Faserstab*, welcher gleichmäßig in der unteren Zellhälfte mehr dem axialen Zellrand anliegt (Figg. 1—4, 11, 12 u. 7) und nach unten zu unter geringer konischer Verbreiterung, die im Profil dreieckig erscheint, gegen die Membrana basilaris anstößt. Der allgemeinen Form dieses Fußes entsprechend zeigen alle einzelnen Fasern eine endständige und geringe konische Verdickung, wie sie zu entstehen pflegt, wenn ein runder und noch aus weichem Material bestehender Stab gegen eine festere Platte aufgestoßen wird.

Nach oben zu gehen, wie meine Beobachtungen zeigen, aus diesen *Faserstäben der DEITERSschen Zellen* zu *einem Teil* jene tiefen *Fasersysteme der Lamina reticularis* hervor, indem sie sich von der im allgemeinen stärkeren Fasermasse des basalen Stützkelches oder des DEITERSschen Verbindungsstieles abtrennen, was

ungefähr in der Kernhöhe der Zelle zu geschehen pflegt. Sie nehmen dann zu diesem letzteren Stiel, der in einer schräg axial aufsteigenden Richtung dem unteren Haarzellenende zustrebt, eine Richtung an, welche bei den ersten und zweiten DEITERSschen Zellen stark zur Seite und etwas nach außen führt und der Abtrennung des *Phalangenfortsatzes der DEITERSschen Zellen vom Hauptstück* der Zelle entspricht. Figg. 1—4, 11, 12 zeigen auf axialen Längsschnitten diese Richtung an, Figg. 7, 19, 20, 22—25 dagegen die stark seitliche Ausladung dieser Zellfortsätze, welche bei der ersten und zweiten Reihe der DEITERSschen Zellen so gewaltig ist, daß, wie RETZIUS und v. SPEE zuerst genauer gesehen, 2—5 Haarzellen unter wellenförmigem Emporsteigen passiert werden, bis schließlich aus den Phalangenfortsätzen jene Phalangenplatten hervorgehen, welche in jener bekannten Weise reihenförmig mit den Kopfenden der zweiten und dritten äußeren Haarzellen alternieren. Ihrer Länge nach sind diese Phalangenfortsätze der ersten und zweiten DEITERSschen Zellen von jenem Fasersystem durchzogen, was zuerst vereinzelt von NUEL gesehen und dann allgemein und genauer als eine konstante und charakteristische Einlage von RETZIUS nachgewiesen worden ist, welche nach seinen neuesten Mitteilungen[1]) aus 2—4 Fädchen zusammengesetzt ist. Beim Menschen besteht sogar nach der Angabe von SPEES dieser RETZIUSsche Faden aus sieben und mehr Fasern. Auch meine Präparate von Meerschwein, Maus, Hund und Katze zeigen eine Zusammensetzung aus 3—4 Fäserchen, die teils schon unten bei der Abzweigung des Phalangenfasersystems in wechselnden Kurven aus dem dickeren Faserstab des Hauptstückes sich loslösen, dann wieder zu einem dickeren Strang vereinigt werden und schließlich oben regelmäßig in der Phalangenplatte selber oder dicht unter ihr im sich verbreiternden Übergangsstück in 3—4 Einzelfasern auseinanderweichen. Unter konischer Verbreiterung inserieren sie schließlich am Kopfreif der DEITERSschen Zellen. Beim Meerschwein liegt die Insertionsstelle mehr am axialen Rand (Fig. 7), bei Hund und Katze (Fig. 13) und noch mehr bei der Maus (Fig. 6, 8) unter fast querer Ansatzrichtung am seitlichen Rand der jedesmaligen Phalangenplatte.

Einer *besonderen* Besprechung bedarf die *dritte DEITERSsche*

1) Biologische Untersuchungen IX. 1900.

Digitized by Google

Zelle und ihr durchgehendes Fasersystem; dasselbe ist bisher unbekannt geblieben. Es bildet aber in der Schnecke von Meerschwein, Hund und Katze, wenn man zunächst vom basalen Anfang des CORTIschen Organs absieht, einen überall sehr charakteristisch angeordneten *äußeren Tragbogen*, der in seiner ausgeprägten Form also eine fast für den ganzen Umfang des CORTIschen Organs geltende wichtige Bedeutung haben wird.

Nur in der Schnecke der Maus mit ihren durchweg *kurzen äußeren Haarzellen* kommt dieses *äußere Bogensystem erst im Ende der Spitzenwindung mit ihren längeren Haarzellen* zur Ausbildung. Zum Unterschied von der Schnecke bei Katze, Hund und Meerschwein herrscht also fast in der ganzen Schnecke der Maus der *basale Typus* vor, d. h. eine Bauart, die bei jenen nur im unteren Anfang des Schneckenganges zu finden ist.

Der *basale Typus des CORTIschen Organs* besteht nach meinen Untersuchungen darin, daß die *dritte DEITERSsche Zelle* einen oberen Fortsatz besitzt, der sich in der Hauptsache wenig von den entsprechenden Phalangenfortsätzen der zweiten und ersten Reihe unterscheidet; er enthält ebenso wie diese ein Fasersystem, was RETZIUS nicht gesehen hat. Seine Insertion liegt am axialen Rand des sogenannten Schlußrahmens und ist durch mächtige kutikulare Verdickungen ausgezeichnet (s. Figg. 6 und 8 von der Maus). Seine Wirkung greift also, der dritten äußeren Haarzellenreihe zunächst, von außen her die Lamina reticularis an.

Der Reihe der dritten DEITERSschen Zellen fügen sich bekanntlich die HENSENschen Stützzellen an, jedoch nicht ihrer ganzen Länge. Während sie unten in der Nähe der Membrana basilaris direkt anliegen, weichen sie oben zurück. Dadurch wird an dem äußeren Rande des eigentlichen CORTIschen Organs ein tunnelförmiger Raum gebildet, der nach meinen Beobachtungen bei diesen vier Säugetieren in der ganzen Länge des CORTIschen Organs ausgeprägt ist und ebenso wie dieses oder wie speziell der Zwischenpfeilertunnel spiralig von der Basis bis zur Spitze verläuft. Ich werde ihn als *äußeren Tunnel* bezeichnen zum Unterschied von jenem Gewölbe, das ich als *inneren Tunnel* unterscheiden will: Der äußere und innere Tunnel hängen durch die *NUELschen* Räume zusammen. Beim *basalen Typus des CORTIschen Organs* liegen nun die *oberen Zellfortsätze der dritten DEITERSschen Zellen mit ihrem durchgehenden Fasersytem an der axialen Wand des*

äußeren Tunnels. Seine äußere Wand würde dann von der ersten HENSENschen Stützzelle, sein Dach von einer gewölbeartig eingefügten Deckzelle gebildet sein (Fig. 1 aus der ersten Windung der Meerschweinschnecke, Fig. 12 aus der zweiten Windung der Schnecke der Maus).

Beim *oberen oder apicalen Typus des CORTIschen Organs läuft dagegen das Fasersystem der dritten DEITERSschen Zelle im Bogen um die äußere und obere Fläche des Tunnels herum,* was durch eine ausgiebige Richtungsänderung des oberen Fortsatzes dieser Zellen verursacht wird.

Wie Fig. 1—4 von den entsprechenden Windungen der Meerschweinschnecke, Fig. 11 von der ersten Windung einer Schnecke vom Hund und Fig. 5 aus dem Endabschnitt der Spitzenwindung der Maus zeigen, ist aus dem anfänglich mehr axial-schief zur Lamina reticularis emporstrebenden Faserstab ein *Bogensystem von Fasern geworden, welches nunmehr den ganzen Raum des äußeren Tunnels umspannt.* Bei der Maus ist es nur bescheiden entwickelt (Fig. 5); bei Katze und Hund (Fig. 11) mächtiger schon ausgeprägt erreicht es in der Schnecke des Meerschweins seine gewaltigste Formentwicklung, die besonders in der dritten und vierten Windung auffallen muß, wo dieser Stützbogen nicht nur das eigene Gewicht der Haarzellen zu tragen hat, sondern auch das Gewicht von Fetttropfen auszuhalten, die in sonderbarer Weise als eine Last von Fettzellen dem Rücken des CORTIschen Organs aufgeladen sind.

Das besprochene Bogensystem, welches in der angegebenen Weise für den *oberen Schneckentypus* charakteristisch ist, werde ich als *äußeren Tragbogen der Haarzellen* bezeichnen. Ihm gegenüber würden dann die *durchgehenden Fasersysteme des Innenpfeilers mit seiner Kopfplatte* einen entsprechenden *inneren Tragbogen* bilden, welcher durch das *Fasersytem des Außenpfeilerruders von unten her überall verstärkt* wird. Eine stellenweise *Verstärkung des äußeren Tragbogens* endlich findet sich bei Gehörorganen mit vier äußeren Haarzellenreihen, wo es auch zu einer entsprechenden Ausbildung einer *vierten DEITERSschen Zellenreihe* kommt. Diese bildet dann nach meinen Beobachtungen in gleicher Weise ein *zweites äußeres Bogensystem,* welches sich demjenigen der dritten DEITERSschen Zelle verstärkend anschließt, wie Fig. 11 an einem axialen Schnitt durch die zweite Schneckenwindung vom Hund zeigt (die Zeich-

Digitized by Google

nung gibt die eingefügte vierte Haarzelle nicht an, die erst auf dem nächsten Schnitt enthalten ist). Einen horizontalen Schnitt durch die tieferen Schichten des CORTIschen Organs aus der gleichen Windung gibt Fig. 21 wieder, welche die Einfügung dieser unvollständigen Reihe vierter DEITERSscher Zellen mit dem Schiefschnitt ihrer Fasersysteme zeigt.

Zusammen mit der Lamina reticularis also, welche in der oben angegebenen Weise durch die verschränkte Anordnung von Außenruderreihen und zwei Reihen von Phalangenplatten jene *regelmäßigen Ringfassungen* für die Kopfenden der äußeren Haarzellen enthält, *bilden das äußere und innere Bogensystem einen allgemeinen Tragbogen im CORTIschen Organ,* dem alle Haarzellen gewissermaßen angehängt sind. Über viele Zellen hinweg verläuft er, aus Stützfasern und Ringfassungen aufgebaut, längs der Oberfläche des CORTIschen Organs in einer nach außen aufsteigenden Kurve. Nach unten zu hängen seine beiden gebogenen und starkfaserigen Schenkel im Bereich der Innenpfeilerzelle und andererseits an der Stelle der dritten DEITERSschen Zelle mit der Membrana basilaris zusammen, sodaß also dieser allgemeine Tragbogen der Haarzellen längs der Fußflächen seiner beiden Bildungszellen an zwei in radialer Richtung weiter von einander entfernten Stellen der Grundmembran aufgespannt erscheint. (Schema I S. 43. Siehe hierzu auch die Flächenansicht des CORTIschen Organs, von denen Fig. 7 der 2ten Windung der Meerschweinschnecke, Fig. 15 aus derjenigen von der Katze, Fig. 8 von der Maus entnommen sind).

Diesem bogenförmig, im CORTIschen Organ ausgespannten Tragsystem sind die Haarzellen derartig angehängt, daß dicht *an der axialen Umbiegungsstelle des inneren Bogenschenkels die innere Haarzellenreihe* in der oben geschilderten Weise befestigt ist, während die *drei äußeren Haarzellenreihen* von dem *mittleren Teil der Kurve* herunter hängen. Entfernter von den äußeren Haarzellen greift also die Stützwirkung des äußeren Bogenschenkels an; nur beim basalen Typus liegt auch die dritte äußere Haarzellenreihe der Umbiegungsstelle des äußeren Tragbogens näher. (Figg. 1, 8, 12).

Am fixierten Präparat erscheint nun der allgemeine Tragbogen der Haarzellen meistens mehr oder weniger in *seiner Mitte eingedrückt,* also dort, wo die drei äußeren Haarzellenreihen eingehängt sind. Je vollkommener jedoch der allgemeine Situs des Ductus cochlearis erhalten ist, um so weniger ist dieses mittlere,

Digitized by Google

belastete Stück der Lamina reticularis basilarwärts eingebogen, woraus ich schließe, daß im Leben diese Form der Oberflächenkurve nur leicht ausgeprägt ist. Eine starke Concavität wird also auf eine bei der Fixierung entstehende Schrumpfung der Innenpfeiler und der äußersten DEITERSschen Zellen zunächst zurückzuführen sein, welche die Ursprungszellen des inneren und äußeren Bogensystems sind. Außerdem sind an einer durch den Fixierungsvorgang erfolgenden Entspannung jedenfalls noch eine weitere Reihe von Zellen beteiligt, die durch den Einfluß der Gerinnungsflüssigkeiten eine direkte Einziehung jener Partien der Lamina reticularis bewirken, während sie dieselben in Wirklichkeit und im lebenden Organ von der Membrana basilaris her unterstützen. Es sind dies die *I. u. II. DEITERSschen Zellen.* Ich meine also, daß außer den *Außenpfeilerzellen*, welche, wie oben bereits auseinandergesetzt, infolge ihrer schiefen axialen Neigung, ihrer starrfaserigen Struktur und ihrer festen oberen Verbindung mit dem Kopf der Innenpfeilerreihe für eine *besondere Stütz- resp. Spannvorrichtung des allgemeinen Tragbogens* sehr geeignet erscheinen, noch *die erste und zweite Reihe der DEITERSschen Zellen als besondere basale Stützeinrichtungen jenes schwächeren Teiles der Lamina reticularis externa aufzufassen sind,* da sie durch ihre *Phalangenfortsätze* nicht nur jene Ringfassungen bilden helfen, sondern auch durch das System ihrer durchreichenden Fasern von der Membrana basilaris abgedrängt halten müssen (siehe hierzu das Schema II S. 44). Daß die oberen oder Phalangenfortsätze der ersten beiden DEITERSschen Zellreihen nicht etwa die Lamina reticularis einziehen sondern in der angegebenen Weise aussteifen müssen, folgt ohne weiteres daraus, daß diese Zellformen *überlange und deshalb stark s-förmig gekrümmte* Phalangenfortsätze besitzen (s. Figg. 24 und 33).

Basale Stützkelche der äußeren Haarzellen.

Zu den auffallendsten mechanischen Einrichtungen des CORTIschen Organs gehören nach den Pfeilerzellen und dem von ihnen gebildeten Tunnel gewisse Fasersysteme der DEITERSschen Zellen, welche ich zum Unterschied von jenen durchgehenden Fasern des äußeren Stützbogens oder denjenigen ihrer Phalangenfortsätze allgemein als *unteres Fasersystem der DEITERSschen Zellen* bezeichnen

Digitized by Google

werde. Im Anfang, d. h. also im *Fußteil der Zelle, liegt dasselbe noch mit jenen längeren Fasermassen zu einem Faserstab vereinigt* zusammen; in der *Kernhöhe* jedoch *trennt* es sich ab, um an demjenigen Abschnitt der DEITERSschen Zelle zu inserieren, welcher durch das von oben in ihn eingelassene untere Ende der Haarzelle in seiner Form bestimmt wird. Bisher ist dieser *untere Kopf* der DEITERSschen Zelle, wie ich ihn nennen will (den *oberen* würde also die in der Lamina reticularis sitzende Platte des Phalangenfortsatzes bilden), nur unvollständig in seiner Form erkannt worden. Er zeigt auf meinen Präparaten eine stumpfkonische Form und ist *ziemlich tief von oben her ausgehöhlt, entsprechend dem in ihn eingesenkten unteren Haarzellenteil.* Bis *zu ihrem Kern tief* ist die äußere Haarzelle in den unteren Kopf der zugehörigen DEITERSschen Zelle eingelassen. Jene Aushöhlung hat ungefähr *Trichterform,* dessen *unterer,* spitz auslaufender Abschnitt aber infolge seiner starken Verjüngung von dem oval abgerundeten *unteren* Ende der cylindrischen Haarzelle *nicht ausgefüllt* wird; außerdem ist diese trichterartige Kopfhöhle an ihrer *seitlich-axialen Wand tief eingeschnitten*, sodaß der ganze Rand des unteren Kopfes einer DEITERSschen Zelle einen seiner Hohlung entsprechenden *rockkragenförmigen Ausschnitt* zeigt, aus welchem wie ein Hals die Haarzelle herauskommt. (Figg. 1, 2, 19, 22, 23, 29, 33). Die *Wand dieses Trichters* finde ich von *Fasern ausgesteift*, die in der Höhe des unteren Kopfes einen *unvollständigen Kelch* bilden und nach unten in einen *Stiel* sich zusammenschließen, welcher sich mit den von oben her herabkommenden Fasern des Phalangenfortsatzes zu jenem *dicken Faserstab* vereinigt, der unten mit einem konisch verbreiterten Fuß der *Membrana basilaris angefügt* ist. (Figg. 1—4 und 7 vom Meerschwein. Figg. 12, 5, 14 von der Maus, Figg. 22—24 von der Katze, Fig. 11 vom Hund).

Aus dieser allgemeinen Anordnung folgt, daß das beschriebene *untere Fasersystem der DEITERSschen Zellen einen basalen Stützapparat für die äußeren Haarzellen* bildet, welcher das untere Haarzellenende mit seinen Fasern umgreift und der Membrana basilaris zu gestützt hält, weshalb ich denselben als *basalen Stützkelch* der *äußeren Haarzellen* bezeichnen will.

Es ist keine Frage, daß dieser Stützkelch dem entspricht, was DEITERS früher als „Verbindungsstiel" gesehen und irrtüm-

licher Weise als einen wirklichen und eigenen Fortsatz der Haarzellen selber gedeutet hat. Seine Beschreibung ist folgende: „Ich kann jetzt bestimmt aussprechen, daß *jede* CORTIsche Zelle jenseits des Kernes sich ganz allmählig zuspitzt und dann in einen Fortsatz ausgeht, der schon hier, weil er sich mit entsprechenden anderen Fortsätzen verbindet, der *Verbindungsstiel* genannt werden soll. Dieser Fortsatz, der, wie gleich zu erwähnen, auf der Basilarmembran festsitzt, ist in den allermeisten Fällen abgebrochen und sitzt an dem entgegengesetzten Ende fest, mehr oder weniger von der Zelle mitnehmend. Sehr gewöhnlich ist, daß der Fortsatz gerade um den Kern herum abbricht und den den Kern umgebenden Halbbogen mitnimmt. Mit diesem erscheint der Fortsatz einer Art Zange ähnlich." Vergleicht man die DEITERSschen Abbildungen (Fig. 23, d, e, f) mit meinen Zeichnungen, so ergibt sich eine vollständige Übereinstimmung. Auch die spätere Angabe NUELS, daß der Verbindungsstiel der Haarzellen in die DEITERSschen Zellen eindringen soll, wird aus meiner Beschreibung des basalen Stützkelches erklärlich. Ebenso kommt in den dann folgenden Beobachtungen, welche GOTTSTEIN zu dem Ausdruck einer „zangenartigen Umfassung des Vestibularkerns" und WALDEYER zu dem Begriff einer „Kernzange" geführt haben, bereits etwas von dieser ganzen kelchartigen Einfassung und basilarwärts gestützten Befestigung der Haarzellen zum Ausdruck.

Im übrigen ist natürlich jener Verbindungsstiel kein eigener Haarzellenfortsatz, was daraus hervorgeht, daß in jenem Kelch die gerundete Zellmembran am Haarzellenende überall nachweisbar ist; ebenso ist die GOTTSTEIN-WALDEYERsche Theorie, welche DEITERSsche Zelle und Haarzelle zusammen als eine einheitliche „Doppelzelle" faßte, unrichtig, wie bereits RETZIUS gezeigt. Daß der „Verbindungsstiel", wie schon DEITERS angibt, sehr deutlich am frischen, unmittelbar nach dem Tod in Glaskörperflüssigkeit untersuchten Gehörorgan zu sehen (Fig. 26) ist, kann ich durchaus bestätigen. Das DEITERSsche Bild einer Zange ist nur insofern unvollkommen, als es ausschließlich die Vorstellung zweier Arme hervorruft, die klammerartig umgreifend wirken; im flachen Profilbild und mit wenig Tiefe besitzenden Objektivlinsen gesehen, wird ein Kelch oder Trichter von Fasern, zumal wenn er an einer Seite ausgeschnitten ist und besonders noch von dieser Seite her gesehen wird, eine derartige Vorstellung auslösen

Digitized by Google

können. Daß es keine Zange sondern ein nicht ganz geschlossener Stützkelch ist, zeigen sowohl meine von verschiedenen Seiten her dem Stützkelch abgenommenen Ansichten (Fig. 1 von der achsialen Seite her, Fig. 7 von oben-außen her, Fig. 12a von der Achse her, Fig. 12b eine gleiche Stelle von oben-außen her, Fig. 13 von oben innen her, Fig. 14 von außen her gesehen) als auch *besonders durch die unteren Köpfe der* DEITERSschen *Zellreihen gelegten Querschnitte,* welche, wie Fig. 12c aus der Mitte der Schneckenwindung einer Maus angibt, die bis auf jenen seitlich-axialen Einschnitt vollständige Trichterform des Stützkelches zeigen.

Genauer hat bereits KATZ (l. c.), wie ich nachträglich bei Durchsicht der einschlägigen Litteratur gefunden, diesen *Stützkelch* beobachtet. Seine Beschreibung geht weit über diejenige hinaus, die sonst vor ihm oder auch nach ihm gegen die alte DEITERSsche Beobachtung eines Verbindungsstieles mit der Membrana basilaris geltend gemacht worden ist. Als *„zangenbecherförmiges Gebilde"* hat KATZ die DEITERSsche Zange erkannt und auch zuerst angegeben, daß derjenige Teil der DEITERSschen Zelle, den ich den unteren Kopf nenne, „nach der Seite der äußeren Pfeiler hin offen steht." Klar ist auch seine Beschreibung „daß der Becher, d. h. das Gebilde, welches nach unten einen Becher, nach oben eine Zange darstellt, das untere Ende der CORTIschen (Stäbchen-) Zelle aufnimmt." Die Abbildungen, die KATZ seiner ersten Arbeit (1888) beigefügt, zeigen auch etwas mehr wie die früheren Figg. 23 d—f auf Tafel VI des DEITERSschen Werkes (Untersuchungen über die Lamina spiralis membranacea. Bonn 1860). Doch fehlt die genaue protoplasmatische Grenze der ganzen DEITERSschen Zelle sowie der Einschnitt des Kelches und die tiefe Spaltung des Faserstabes in das System des Stützkelches und der längeren Phalangenfäden. Eine Streifung der Kelchwand kommt dagegen auf den KATZschen Zeichnungen bereits etwas zum Ausdruck. Ein *Stützapparat für beide Zellen* ist nach KATZ dieser Phalangenfaden mit seinem Anhang eines „zangenbecherförmigen Gebildes." Von seiner Ansicht, daß an dieser Stelle „eine Verklebung mit geringer Beweglichkeit der CORTIschen Zelle" vorliegt, weicht meine weiter unten geäußerte Ansicht im ersten Punkt nicht viel ab; nur der „Beweglichkeit" traue ich nicht recht. Sonst meine ich, daß hauptsächlich für die CORTI-

Digitized by Google

schen Haarzellen eine basale Stütze durch solche Einrichtungen geschaffen ist, die natürlich für jene Funktion einen eigenen Halt in sich haben, oder wie KATZ sich ausdrückt, auch einen „Stützapparat der DEITERSschen Zelle" bilden müssen.

Eine Besonderheit von allgemeinerer Bedeutung finde ich noch am *ganzen Rand des Stützkelches.* Auf nicht zu stark differenzierten Präparaten unterscheidet er sich von der übrigen Masse des Kopfes als dunkler und bei verschiedenen Tieren und auch an verschiedenen Windungsabschnitten desselben Gehörorgans verschieden starker *Randsaum,* welcher am äußeren Umfang vielfach breiter ist wie am seitlich axialen Einschnitt, wo er schließlich nach unten zu fein zugespitzt ausläuft. Dieser Randsaum am Ausschnitt des unteren Kopfes ist offenbar eine cutikulare Bildung. Fig. 19 zeigt denselben von innen her, Fig. 20 von außen oben her; auch auf den übrigen vorhin angegebenen Figuren tritt überall diese Randlinie hervor, die ich als *unteren Einfassungsring* der Haarzelle bezeichnen will. Nach meinen Erfahrungen umgreift er die eingefügte Haarzelle eng. Von unten her hängen mit ihm jene *Fasern des Stützkelches* unter geringer Änderung ihrer Substanz zusammen, die eine schnellere Entfärbung an solcher Stelle bedingt.

Die Vorstellung, die ich mir auf Grund dieser angegebenen und abgebildeten Beobachtungen von der Art der Einfügung einer äußeren Haarzelle in den Stützkelch der DEITERSschen Zelle gemacht habe, geht dahin, daß der Einfassungsring samt seinem Kelch von Stützfasern eine *Vorrichtung* bedeutet, die das *untere Haarzellenende wie eine Klemme faßt und sichert.* Daß die *einklemmende Wirkung* nur eine *leichte* sein kann, dürfte daraus hervorgehen, daß am frischen Präparat die Haarzelle wohl vollständig den Ring ausfüllt aber doch keine irgendwie deutliche Einschnürung an dieser Stelle zeigt; daß aber andererseits Einfassungsring und Stützfasern eine festhaltende Masse bedeuten, dürfte daraus hervorgehen, daß an *frischen,* natürlich nicht zu stark mißhandelten *Isolationspräparaten DEITERSsche Zellen und Haarzellen eine Masse bilden.* Im übrigen zeigen Faserkelch und Ring eine entsprechende Unnachgiebigkeit, welche auf axialen Schneckenschnitten hervortritt, die z. B. in ZENKER-Flüssigkeit fixiert und mit Salpetersäure-Alkohol nachbehandelt sind. Sie erscheint als eine geringe Verbreiterung der Haarzellen dicht oberhalb jener ein-

Digitized by Google

klemmenden Fassung und ist wohl durch Quellung des Protoplasmas und der Membran der Haarzellen entstanden.

Die *Richtung, in welcher die Stützkelche auf der Membrana basilaris* stehen, ist der *Schneckenachse zu konvergent;* sie zeigen also auf axialen Längsschnitten eine *der Außenpfeilerzelle parallele* und *axial-spitzenwärts gerichtete schiefe Neigung.* Wie die Außenpfeiler oder auch Innenpfeiler sind ihre unteren Stiele entweder gerade oder leichter und stärker wellenförmig gebogen, was mir mehr von einem besser oder schlechter fixierten allgemeinen Situs des CORTIschen Organs abzuhängen als der Wirklichkeit zu entsprechen scheint. Für die basalen Stützkelche der äußeren Haarzellen gelten eine ganze Reihe von Variationen, die in der Hauptsache folgende sind und zunächst *Unterschiede in der Stärke und Form des Stützkelches* bedeuten.

Im allgemeinen sind, abgesehen von den oberen Schneckenwindungen des Meerschweins, die Stützkelche in den *unteren Abschnitten des CORTIschen Organs am stärksten* ausgeprägt; sie sind hier außerdem von *gedrungener Gestalt,* welche der geringeren Länge der DEITERSschen Zellen entspricht. Dadurch wird es leicht, aus dem reinen Anblick der „Verbindungsstiele" allein ihre Stellung in der aufsteigenden Höhe des CORTIschen Organs zu bestimmen. Figg. 22, 23, 24 zeigen solche Differenzen in der *Stärke des Stieles* für die untere, mittlere und obere Windung der Katzenschnecke an den ersten DEITERSschen Zellen; sie lassen ebenfalls die *erheblichen Unterschiede* in der *Form und Tiefe des eigentlichen Stützkelches* erkennen, der im Spitzengebiet der Schnecke also kürzer, flacher und ärmer an Fasern wird. Es entspricht also nicht, wie man vielleicht aus der oben entwickelten Ansicht über die stützende Eigenschaft dieses unteren Fasersystems erwarten könnte, der Längenzunahme der Haarzellen auch eine gleiche in der Stärke ihrer unteren Stützen. Noch größer zeigt sich der Unterschied in der Schnecke der Maus; Fig. 5 gibt diese Verhältnisse am Spitzenende des CORTIschen Organs wieder, Fig. 19 an seinem basalen Anfang. *Zweitens* bestehen *Differenzen zwischen den drei Reihen der DEITERSschen Zellen aus der gleichen Windungshöhe.* Im allgemeinen sind die *beiden ersten Reihen* durch einen *stärkeren Stiel* und *größeren Reichtum an Kelchfasern* vor der dritten Reihe DEITERSscher Zellen ausgezeichnet. Fig. 7 zeigt dies bei Ansicht von oben her an der zweiten Windung einer Meerschweinschnecke.

Digitized by Google

Für die *untere Windung gilt dies wenig oder fast gar nicht;* dagegen ist dies wiederum in den oberen Windungen der Schnecke von Maus, Katze und Hund zwar noch stärker ausgeprägt, sodaß oft auch bei meiner immerhin etwas zuverlässigen Methode der Untersuchung die *dritten Deitersschen Zellen* nur *sehr wenige und feine Kelchfasern*, oft auch *anscheinend gar keine Kelchfasern* zeigen. Mit völliger Sicherheit kann ich allerdings bis jetzt nicht behaupten, daß in diesen Endabschnitten der dritten äußeren Reihe von Deitersschen Zellen absolut keine Stützkelche gebildet werden, da bei einer differenzierten Färbung Fehlerquellen aus einer zu starken Entfärbung zumal bei einem etwas schwierigeren Objekt nicht selten sind, zumal hinzukommt, daß ich anfangs überhaupt keine derartigen Stützfasersysteme hier gefärbt bekam, später aber infolge einer sicherer gewordenen Methodik vielfach aus feinsten Fäserchen gebaute Kelche oder wenigstens einen oder zwei dünnere Stützfäden dieser Art beobachten konnte. Nur soviel kann ich also für das Spitzende des Cortischen Organs von Maus, Hund und Katze behaupten, daß es durch eine *Reduktion der Stützkelche in der äußersten Reihe der Deitersschen Zellen* charakterisiert ist. Nur für die Schnecke des Meerschweins gilt dies jedoch nicht, wie Fig. 3 und 4 zeigen.

Eine weitere Variation betrifft die gegenseitige *Richtung von Kelch und Stiel.* In dem *basalen und mittleren Umfang des Cortischen Organs* verjüngt sich der Stützkelch nach unten zu gleichmäßig und in *gerader Richtung* zu seinem Stiel, wie aus *axialen Längsschnitten* hervorgeht. Vergleicht man jedoch mit diesen Profilbildern, die also nur für eine radiale Ebene eine gerade Stellung auf der Grundmembran angeben würde, eine Ansicht von innen oder außen her, so zeigt sich vielfach auf meinen Präparaten, daß eine geringe *seitliche Abbiegung des Stützkelches vom unteren Faserstab* vorkommt. Vielleicht ist dieselbe, da sie nicht völlig konstant ist, nur eine Folge der Konservierungsmethode.

Auf solche Veränderungen sind aber sicherlich nicht jene *eigentümlichen Abweichungen* zurückzuführen, welche *häufiger in der Spitzenwindung* von Hund, Katze und Meerschwein vorkommen, während sie in den beiden unteren Windungen seltener sind; in der Schnecke der Maus habe ich sie bisher nie gefunden, obgleich ich daraufhin eine größere Anzahl von Exemplaren untersucht habe. Die *eine Art* von *Abweichungen* besteht darin, daß eine

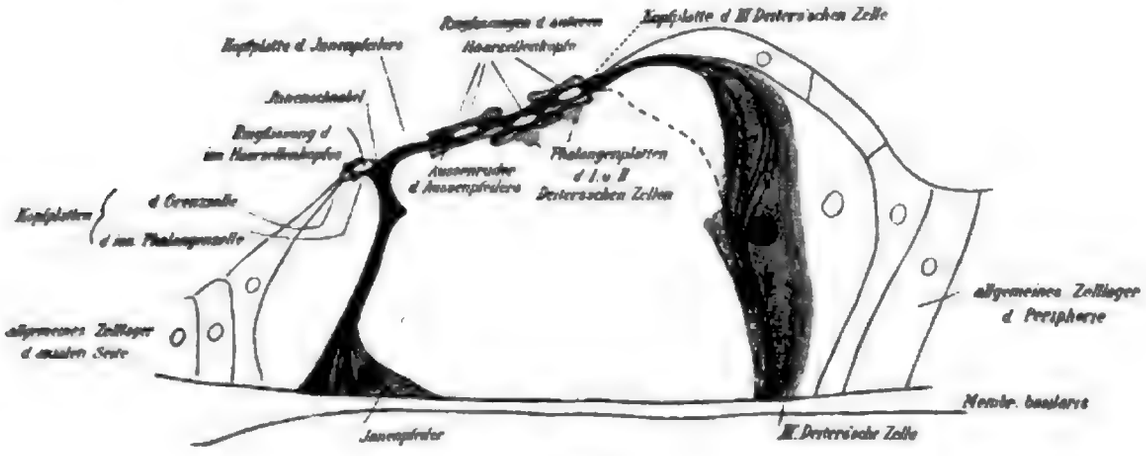
Digitized by Google

Anzahl von Stützfasern des Kelches erst kreisförmig oder spiralig-zusammengerollt sind, bevor sie am Rand des Stützkelches inserieren (Fig. 24a zum Unterschied von Fig. 24b). Solche Kreistouren können auch in radialer Richtung innerhalb jener Höhe der DEITERSschen Zellen gebildet sein; erstere lassen sich dann leichter auf axialen, letztere klarer auf peripheren Längsschnitten beurteilen und auflösen. Eine zweite Gruppe von Besonderheiten liegt darin, daß nicht eine, sondern *zwei DEITERSsche Zellen gemeinsam* den Stützkelch für eine Haarzelle bilden und eine dementsprechende *kompliziertere Verteilung ihres unteren Fasersystems* zeigen (s. Fig. 24c, wo die rechte Zelle mit einem dunkler erscheinenden, schräg aufwärts gerichteten Seitenarm den Stützkelch der linken Zelle zusammensetzen hilft, während für die ihr entsprechende Haarzelle ein sehr zierlicher und in einem Bogen abgezweigter Stützkelch gebildet ist. Auch Fig. 24a zeigt am rechten oberen Rand (x) eine geringe und durch einzelne feine Fasern von unten her gesteifte Hohlung, welche zur Vervollständigung des nächsten, nicht mit gezeichneten Stützkelches dient). Solche Varianten können, wenn auch selten, in der basalen Windung vorkommen. Im übrigen kommen derartige *Stützarme zu anderen Kelchen* nicht nur *nach der Seite* hin vor. Wie in allen Schneckenwindungen mitunter zu finden ist, reichen solche *besondere und tiefere Fortsätze* auch *axialwärts* aus der *zweiten Reihe DEITERSscher Zellen in die erste* und aus der *dritten* in die *zweite und sogar noch in die erste Reihe* hinein, um der Vervollständigung und weiteren Ausstützung selbst *entfernterer* Stützkelche in der Quere zu dienen (Fig. 4 und Fig. 3). Umgekehrt findet sich zu diesen Varianten als *seltenes* Vorkommnis, daß von *einer DEITERSschen Zelle zwei Stützkelche* gebildet werden (s. Fig. 6c in der Mitte der II. DEITERSschen Zellreihe).

Endlich habe ich noch zu den *unregelmäßigen Bildungen* der DEITERSschen Zellen *Einschlußkörper* zu rechnen, welche im mittleren Teil der Zelle resp. ihrem unteren Kopf zu vorkommen. Beim *Meerschwein* ist die *erste Windung* z. B. dadurch ausgezeichnet, daß in *allen drei Reihen DEITERSscher Zellen verzweigte Gebilde* von teils homogener, teils körniger Beschaffenheit als besondere *Anhänge des Faserstabes* auftreten (s. Fig. 25). Bei der *Maus* endlich sind noch für den Anfang der zweiten Windung gewisse Bildungen typisch, die als *kurze seitliche Backen dem oberen Abschnitt des Stützkelches selber* eingelassen sind (Fig. 12).

Allgemeine Einrichtungen des Stützapparates der Haarzellen.

Wie ich ausführlich begründet habe, läßt sich im CORTIschen Organ von Säugetieren ein *Stützapparat von Fasern* nachweisen, welcher ausschließlich innerhalb gewisser *Stützzellen* und zwar der *Pfeilerzellen* sowie der *DEITERSschen Zellen* ausgebildet ist. Er gliedert sich in einen *allgemeinen Tragbogen der Haarzellen*, welcher teils an der *Oberfläche des CORTIschen Organs besondere Ringfassungen für die Haarzellenköpfe* enthält und andererseits nach unten zu auf der *Membrana basilaris* durch *zwei bogenartig gekrümmte Schenkel* befestigt ist, welche als *innerer Stützbogen* durch das *durchgehende Fasersystem der Innenpfeilerzelle* gebildet werden und als *äußerer*



Schema I.

Allgemeiner Tragbogen für die Ringfassungen der Haarzellenköpfe in der Lamina reticularis.

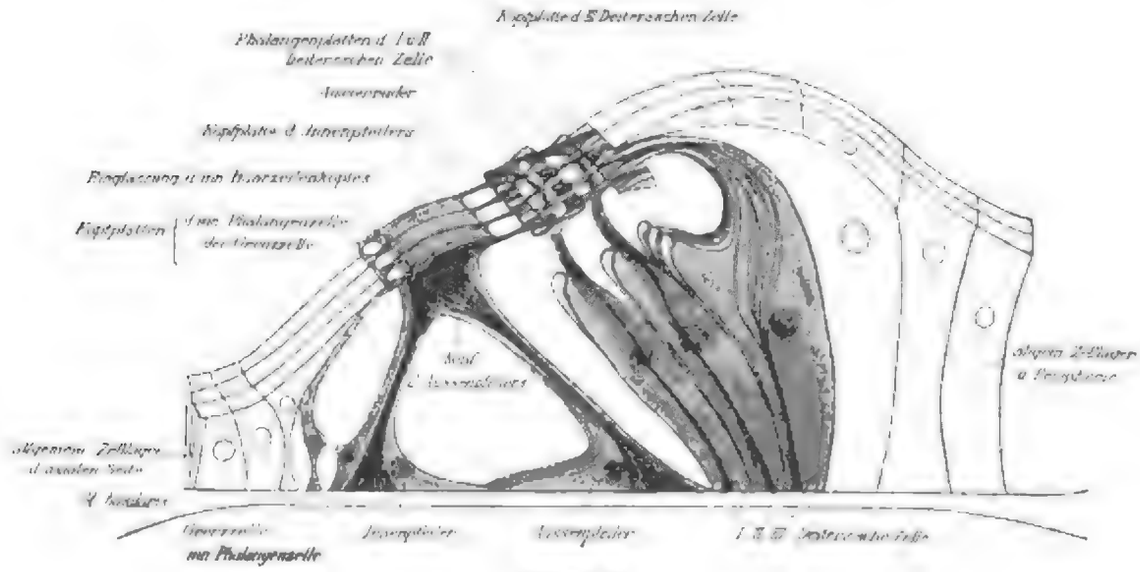
(Die punktierte Linie gibt die Form des äußeren Bogens beim basalen Schneckentypus.)

Stützbogen in den *langen Faserzügen der dritten* resp. der *vierten DEITERSschen Zelle* enthalten sind (s. das Schema I). Diesem allgemeinen Tragbogen sind die herabhängenden Haarzellen mit ihren *Köpfen fest eingefügt* und zwar so, daß die *innere Haarzellenreihe* dem *inneren Stützbogen axial angefügt* ist, während die *drei* resp. *vier Reihen äußerer Haarzellen* an der *schwächeren Mitte jenes allgemeinen Tragbogens* befestigt sind.

Als weitere *Stützen für diesen Tragbogen mit seinen Kopffassungen der Haarzellen dienen besondere Zellen* resp. die von ihnen gebildeten *Fasersysteme.* Für die *inneren Haarzellen* gelten als solche Teile die *Innenschnäbel* der Innenpfeilerzellen und ihr Fasersystem, sowie die *inneren Phalangenzellen* resp. *Grenzzellen*, die infolge der *unmittelbaren Befestigung der Kopffassungen*

Digitized by Google

dieser Haarzellen am Winkel des inneren Stützbogens nur schwach ausgeprägt sind, ebenso wie die spärlichen Stützfasern der Innenschnäbel, zumal da noch diese Stelle des inneren Stützbogens durch das *schief von unten her eingestemmte Fasersystem der Außenpfeilerzellen in mächtiger Weise* ausgestützt ist. Als besondere *Stützen für die Kopffassungen der äußeren Haarzellen* können die *Phalangenfortsätze der beiden ersten Reihen* DEITERSscher *Zellen* resp. das in ihnen enthaltene *durchgehende Fasersystem* sowie dasjenige der *Außenruder der Außenpfeilerzellen* aufgefaßt werden, welches als ein *kurzes* System von Fasern selbständig aus dem Kopf des Außenpfeilers hervorgeht. *Erstere* bilden also ein



Schema II

Ausgestützter und verstärkter Tragbogen der Haarzellen

basales Stützsystem, da sie *direkt auf der Basilarmembran* befestigt sind; letzteres ist erst *indirekt durch den Faserstab* der *Außenpfeilerzelle* von der Membrana basilaris her getragen. Da seine Richtung fast rechtwinklig zur Ebene der lang aus den Köpfen herausspringenden Außenruder steht, so vermag die ganze miteinander verschränkte Masse von Außenpfeilerfasern eine ausgedehnte Stützwirkung auf die zahlreichen Ringfassungen der Lamina reticularis externa selber auszuüben (Schema II).

Von dieser *oberen Befestigung* der Haarzellen verschieden ist ihre *basale Einfügung* in einen besonderen Apparat von Zellen und Fasern. Als *basale Stützen* (auf dem Schema III der Tafel V rot gehalten) gelten für die *innere Haarzellenreihe die unteren Hälften* oder Abschnitte der *inneren Phalangenzellen und der Grenz-*

Digitized by Google

zellen, soweit sie mit ihrem wenig kompakt gebauten Protoplasma den unteren Umfang der einzelnen Haarzellen angreifen. *Wesentlich stärker* und durch *intracelluläre Faserkelche* ausgezeichnet sind *die basalen Stützeinrichtungen der äußeren Haarzellen*, welche zusammen mit den Außenpfeilerzellen und den basalen Schenkeln des äußeren Stützbogens, und zwar zwischen ihnen, auf den *stärker schwingenden Stellen der Membrana basilaris* befestigt sind. *Allgemein* erscheinen also die *Haarzellen* in einer *doppelten Weise*, am oberen und unteren Ende *gefaßt* dem bei den Schwingungen der Grundmembran folgenden Stützapparat eingefügt. Nur sind die *äußeren Haarzellen* zum Unterschied von den inneren *fester und sicherer zwischen der oberen Ringfassung ihrer Köpfe und dem basalen Stützkelch ihres unteren Zellendes* eingesetzt, sodaß der ganze Apparat für die Befestigung und Stützung dieser Sinneszellen einer feinen mechanischen Einrichtung ähnlich erscheinen kann, welche nicht nur geeignet ist, die *Übertragung von Schwingungen der Grundmembran zu vermitteln*, sondern auch in dieser allgemeinen und mitschwingenden Masse von Zellen die empfindlichen Haarzellen vor *störenden Eigenschwingungen* zu sichern. Vor allem aus dem mehrfach bereits betonten Unterschied in der basalen Befestigungsweise der inneren und äußeren Haarzellen und ihrer verschiedenen Stellung über schwächer und stärker schwingenden Abschnitten der Membrana basilaris würde man mit einigem Recht solche besondere Folgerung aus dem morphologischen Bild des Stützapparates der Haarzellen ableiten können. Speziell könnte man noch die basalen Stützen des allgemeinen Tragbogens und besonders die *faserreichen Phalangenfortsätze* der betreffenden DEITERSschen Zellen als *federnde Einrichtungen* auffassen, dazu bestimmt, eine *stärkere Kompression oder Dehnung der äußeren Haarzellen* zu verhüten, welche durch ungleich starke Schwingungen der Lamina reticularis und der tieferen Abschnitte des CORTIschen Organs entstehen müßten. Die stark *s*-förmig gebogenen und ein wenig spiralig aufsteigenden Phalangenfortsätze erwecken geradezu die Vorstellung solcher Funktion. Womit ich jedoch nicht behaupten will, daß nur an dieser Stelle des CORTIschen Organs solche Funktion zustande käme. Vielmehr wird überhaupt infolge einer *federnden Spannung im gesamten Stützapparat*, die durch die Bildung zweier entgegengesetzt liegenden Faserbogen, ihrer basalen Ausstützung u. s. w. herbeigeführt ist, solche Bedeutung ganz allge-

Digitized by Google

mein in jenem komplizierter zusammengesetzten System von Stützfasern, Ringfassungen und Stützkelchen mit enthalten sein müssen. Daß eine *bestimmt gerichtete Spannung hier vorhanden ist*, muß wohl aus den regelmäßigen Veränderungen gefolgert werden, welche bei intensiv und plötzlich wirkenden Fixierungsmitteln, den sogenannten und hinreichend bekannten schlechten Konservierungsflüssigkeiten des CORTIschen Organs, als jene charakteristischen *Einziehungen der Membrana basilaris* in die zwischen den beiden Pfeilerzellen gelegenen inneren *Abschnitte des Tragbogens* zu entstehen pflegen und weiterhin von *starken wellenförmigen Verbiegungen der Faserstäbe* der Pfeiler- und DEITERSschen Zellen sowie von *starken Abflachungen des äußeren Bogens* begleitet sind. Im übrigen aber dürfte es unmöglich sein, ohne weiteres eine irgendwie begründete Ansicht über die *Spannungen einzelner Teile jenes Stützapparates* schon jetzt aufzustellen. Auf die Hauptfrage nach der Innervation der Haarzellen und nach der Übertragung der Schwingungen der Grundmembran auf den nervösen Apparat der Haarzellen werde ich weiter unten einzugehen Gelegenheit haben.

2. Über das Vorkommen von Zentralkörpern im Epithel des Ductus cochlearis.

Bei meiner oben angegebenen differenzierten Hämatoxylinfärbung mit vorheriger Beize von Liquor Aluminis acetici oder Alsol erscheinen als *oberflächliche Differenzierungsreste aller Epithelzellen des Schneckenganges winzige Körnchen*, die meistens länger als die übrigen Protoplasmakörnchen dunkelgefärbt bleiben und mit *Ausnahme der Haarzellen*, wo *allein ein etwas gröberes Korn* in einer Lücke der oberflächlichen cutikularen Platte vorkommt, sonst überall als *Doppelkörner* vorhanden sind, welche entweder weiter entfernt oder, wie meistens zu sehen, dicht nebeneinander zu einem engen Paar gestellt sind. Mitunter zeigen diese Gebilde, die den bisherigen allgemeinen Angaben über sogenannte Zentralkörper der tierischen Zellen und speziell den durch v. SPEE[1]) in der menschlichen Schnecke gefundenen Zellteilen entsprechen dürften, auch eine *geringe Stäbchenform*.

Im allgemeinen ist die Differenzierung dieser Körner auf meinen Präparaten ziemlich sicher, sodaß sie selbst auf den 20 μ dicken Celloïdinschnitten meiner Schneckenpräparate glatt einzu-

1) Münchener medizinische Wochenschrift 1902. No. 13.

Digitized by Google

treten pflegt. Doch ist zu erwähnen, daß mitunter, wenn auch selten, noch einige andere Körnchen der oberflächlichen Protoplasmaschicht gefärbt bleiben, wodurch dann eine präzise Entscheidung darüber unmöglich wird, was Zentralkörper sein soll und was nicht. Die folgenden Angaben beziehen sich also nur auf diejenigen an Zahl überwiegenden Zellen, bei denen solche oberflächliche Körner als alleinige oder dunkler gefärbte *Färbungsreste* geblieben sind. Vorausschicken will ich, daß sich meine Befunde mit denjenigen v. Spees völlig decken.

Bei den *Haarzellen, äußeren* wie *inneren,* liegt je *ein größeres Korn* an der *äußeren, oder peripheren Seite des Kopfendes* (Fig. 7 vom Meerschwein), und zwar in einer hell erscheinenden Lücke der cutikularen Deckplatte des Kopfendes.

Bei den *Innenpfeilerzellen* liegt das *Doppelkorn* am *äußeren Rand der Kopfplatte,* bei den *Außenpfeilern* im *Außenruder* zwischen den fächerförmig ausstrahlenden Fasern seines Faserstabes (Fig. 13 von der Katze). Die *inneren Phalangenzellen* zeigen ihre beiden Körner am *axialen Rand,* ebenso wie die *beiden ersten Reihen der Deiterschen Zellen* es *meistens* auch erkennen lassen; nur daß hier mitunter zwei Körner am *äußeren Rand* liegen. Eine weitere Variation besteht darin, daß drei und zuweilen auch vier Körner von gleicher Färbungsqualität und ungleicher Verteilung auf den axialen oder äußeren Rand vorkommen (Fig. 7 und 13). Bei der *dritten* Reihe Deitersscher Zellen liegen sie wieder mehr und durchweg in *Zweizahl* am *axialen* Rand zwischen den Insertionspunkten des äußeren Stützbogensystems (Fig. 13); sie können mitunter bei stärkerer Mitfärbung der verdichteten Grenzsäume der Zellmembranen durch dieselbe verdeckt sein. Bei den übrigen Zellen kommen sie ebenfalls durchweg in Zweizahl vor; abgebildet habe ich sie noch bei den Zellen des Hensenschen Stützwulstes (Fig. 8 und Fig. 13) und denjenigen der Reissnerschen Membran (Fig. 9a). Die Vermutung von Retzius, daß die von ihm bei Anwendung der Heidenhainschen Eisenhämatoxylinmethode in der Mitte der Deitersschen Zellen gefundenen, dunkel gefärbten Körnergruppen Zentralkörper wären (biol. Untersuchungen IX), kann ich also nicht bestätigen oder unterstützen. Nach meiner Meinung wird es sich hier entweder um *körnig gebaute Einschlußkörper* in der Nähe meiner Stützkelche handeln, die oft nur ovale oder streifenartige Formen besitzen zum Unterschied von den eigen-

Digitized by Google

tümlichen verzweigten Gebilden in der Schnecke des Meerschweines, oder auch, was wahrscheinlicher, um *Neurosomenhaufen terminaler Cochlearisnerven* im unteren Raum des Stützkelches. In den körnerreichen Epithelzellen des Ligamentum spirale habe ich bisher keine durch späte Entfärbung charakterisierbaren Körnchen oder Doppelkörner von irgend welcher Regelmäßigkeit gesehen. Über eine Funktion dieser immerhin und auch sonst noch dunklen Zellgebilde enthalte ich mich jeder Äußerung oder Vermutung.

3. Die Endfläche des Vorhofsnerven und Hörnerven.

Bei einer bestimmten Differenzierungsmethode meiner Alsol-Hämatoxylinfärbung ist es mir bei einer Reihe von Schnitten gelungen, das *Ende des Nervus vestibularis und N. cochlearis im Gehörlabyrinth* genauer als bisher bekannt festzustellen. Solche Präparate zeigen die *terminale Endfläche des Nervus vestibularis und N. cochlearis* als eine an *Neurosomen* oder *Neurosomenhaufen reiche Protoplasmamasse,* welche einerseits *mit Sicherheit aus marklos gewordenen Nervenfäserchen* hervorgeht und zum zweiten Teil den *Haarzellen* in bestimmter Weise *angefügt* ist.

Figg. 31, 38 u. 39 zeigen die *intraepitheliale Endfläche des Nervus vestibularis* im Bereich der *Macula* und *Crista acustica.*

Fig. 31 zeigt auf einem Längsschnitt durch die Macula acustica einer 3 Tage alten Katze die Neurosomenverteilung in den noch marklosen Nervenfasern[1]) unterhalb des Epithels, welche zum Teil sehr dicht und grob granuliert erscheinen. Beim Durchtritt durch die Basalmembran hört das Neurilemm der einzelnen Nervenfasern auf. Sehr klar tritt dann das verzweigte *intraepitheliale Nervengeflecht* als ein Geflecht dicht *granulierter Fäden* hervor, welches schließlich in einen sehr *engen und feinen granulären Belag* sich fortsetzt, welcher die *Haarzellenoberfläche* in *einer gleichen Weise einhüllt,* wie ich es früher und vor kurzem[2])

1) An einer Reihe verschiedener Entwickelungsstadien des Gehörlabyrinths habe ich außer diesen Beobachtungen über die Ausbildung von granulären Achsencylinderstrukturen auch solche über *Richtung der Markreifung* gemacht, sie zeigen, daß der *Nervus vestibularis vom Ganglion aus,* also in *cellulifugaler Richtung markhaltig* sind; auch für *N. cochlearis* kann ich ein gleiches jetzt nachweisen. Ich füge hinzu, daß auch die *motorischen* Rückenmarks- und Hirnnerven ein gleiches Verhalten erkennen lassen.

2) Über den Bau der grauen und weißen Substanz. Arch. f. Anatomie 1902.

Digitized by Google

wieder bei *zentralen Nervenzellen* nachgewiesen habe. Daß auch hier wie im zentralen DEITERSschen Kern des N. vestibularis für das erwachsene Tier eine Vergrößerung der Endfläche und eine Vermehrung ihrer Granulationen gilt, zeigt Fig. 38 von der erwachsenen Katze. In Fig. 39 habe ich bei der erwachsenen Maus noch den unwiderleglichen *Zusammenhang der granulierten, intraepithelialen und die Haarzellen bedeckenden Nervenfäserchen mit den subepithelialen markhaltigen Nervenfasern* abgebildet. Als eine Besonderheit zeigt diese Abbildung einen mächtigeren intraepithelialen Nervenplexus, welcher unter dem *Grund der Haarzellen* verläuft. Die eine der Nervenfasern verliert erst in der Membrana basalis selber ihr Nervenmark, was mitunter sogar auch in den tieferen Schichten der Epithelzellen selber eintreten kann.

Meine Beobachtungen über das epitheliale Ende des Vestibularnerven stimmen also mit den früheren Angaben von NIEMACK (Maculae und Cristae acusticae mit EHRLICHS Methylenblaumethode, Anatom. Hefte 1893) und KAISER (Das Epithel der Cristae und Maculae acusticae, Art. für Ohrenheilkunde Bd. 32, 1891), sowie mit den älteren Angaben von RETZIUS (Das Gehörorgan der Wirbeltiere II, 1884) insofern überein, als diese Forscher eine *granulierte Beschaffenheit der intraepithelialen* Nervenfasern gefunden haben, welche teils das untere Ende der Haarzelle umfassen, teils zwischen ihnen mit Seitenzweigen in die Höhe steigen. Später wurde dann von RETZIUS (Die periphere Endigungsweise des Hörnerven, anatom. Gesellschaft 1892) und v. LENHOSSÉK (Die Nervendigungen in den Maculae und Cristae acusticae, Wiesbad. 1894) die *freie aufgesplitterte Endverzweigung jener intraepithelialen Nervenfäserchen* im Bereich der Haarzellen mittels der GOLGISchen Silbermethode demonstriert und als ein klares Beispiel von *Nervenkontakt* an Sinneszellen hingestellt. Gegen den reinen Kontakt hat sich dann KRAUSE (Die Endigung von dem Nervus acusticus im Gehörorgan, anatom. Gesellschaft 1896) ausgesprochen auf Grund von Untersuchungen an Lachs- und Forellenembryonen, bei denen starke Endkelche in der Crista, schwächere Faserkörbe im Bereich der Macula acustica ausgeprägt sind. Die von NIEMACK und KAISER betonte Granulierung wird von ihm für ein Kunstprodukt erklärt.

Daß die *nervöse plasmatische Granulierung* an der Oberfläche der Haarzellen *kein Kunstprodukt* ist, beweisen mir Beobachtungen,

Digitized by Google

welche ich an den *frischen Haarzellen der Maculae und Cristae acusticae des Meerschweins* angestellt habe. Sie lassen *dasselbe* erkennen, wie jene *fixierten Bilder* und zeigen mir zweitens ein *festeres und fußartiges Haften der einzelnen Körner oder Körnerhaufen an der Zellmembran der Haarzellen.* Mit jenen Bemerkungen KRAUSES gegen den lockeren Nervenkontakt stimme ich auf *Grund dieser Beobachtungen am frischen Präparat* überein; seine Kritik der Angaben von KAISER und NIEMACK ist dagegen unberechtigt. Von den KAISERschen Abbildungen jener Endkelche unterscheiden sich meine durch feinere Verzweigung der gröberen Nervenfasern und eine netzartige Verbindung der letzten pericellulären Neurosomenhaufen, sodaß ich mehr den Beschreibungen von RETZIUS Recht gebe, welcher die letzten Nervenfäserchenenden als „körnig-faserige Bildungen am Protoplasma des Haarzellenkörpers" (l. c.) beschreibt. Das KAISERsche Bild eines Eierbechers halte ich für unzutreffend, weil eine ganze Summe von einzelnen und verzweigten Fäserchen nach meinen Beobachtungen zu einer maschigen pericellulären Hülle zusammenkommt. Jene freien Endfasern an der Epitheloberfläche, wie sie NIEMACK schematisch darstellt, habe ich nicht gefunden; dagegen kommt auch auf meinen Präparaten stellenweise sein basales intraepitheliales Geflecht von Nervenfäserchen (Fig. 39 von der Maus) zur Beobachtung. In wie viele intraepitheliale Fäserchen ein Achsencylinder der Vestibularnerven zerfällt, kann ich bei meiner Neurosomenmethode nicht angeben; sie zeigt nur, daß vollständiger, wie bisher bekannt, eine *totale nervöse Einhüllung der betreffenden Haarzellen* vorhanden ist.

Was die *Stützeneinrichtungen dieser Haarzellen* anbetrifft, so finde ich in den *SCHULZEschen Fadenzellen* eine den DEITERSschen Zellen und den Pfeilern des CORTIschen Organs analoge *Ausbildung* von *intracellulären Stützfasern,* die wie teilweise zu beobachten (Figg. 38 und 39) bis zur Basalmembran durchreichen und nach oben pinselartig an einem im Bereich der Haarzellen besonders ausgebildeten, verdickten *Schlußleistennetz* angeheftet sind, welches also eine *Lamina reticularis* für dieses vestibuläre Sinnesorgan bedeutet.

Das *Ende des Hörnerven im CORTIschen Organ* zeigen mir ebenfalls Präparate mit gelungener Neurosomenfärbung. Die von der Habenula perforata an marklosen Fäserchen des Nervus cochlearis sind anfangs von wechselnder, bald dichterer, bald lockerer Granulierung, welche aber keineswegs ausschließlich an die geringen

Digitized by Google

und stellenweise vorhandenen Varikositäten der Nervenfäserchen gebunden ist, sondern auch an den glatten Strecken des inneren Spiralstranges, des Tunnelstranges, der radiären Tunnelnerven sowie der verschiedenen äußeren Spiralnervenzüge an und zwischen den Deitersschen Zellreihen vorkommt. Reichlicher erscheint bereits die Granulierung dort, wo *innerhalb der sogen. Körnerschicht* und unter dem *Grund der inneren Haarzellen* ein *erster und diffuser Spiralplexus* gebildet wird, aus dem dann *granulierte Fäserchen* hervorgehen, welche den *unteren Abschnitt der inneren Haarzellen* erreichen. Nach meinen bisherigen noch nicht sehr umfangreichen Erfahrungen an der Schnecke von Meerschwein und Katze ist *ungefähr das untere Drittel* mit granulärem Neuritenprotoplasma *haufenweise* bedeckt. (Fig. 1 vom Meerschwein.) *Eine vollständige Einhüllung wie bei den Haarzellen der Macula und Crista acustica* habe ich bisher bei den inneren Haarzellen des Cortischen Organs *nicht* nachweisen können. Für die Ansicht von Katz, daß „die äußerst zarten Kernzellen samt ihren Fortsätzen mit dem nervösen Netzwerk zusammenhängen", habe ich keine irgendwie sicheren Anhaltspunkte gewinnen können. Auch die von v. Spee geäußerte Meinung, daß die „inneren Haarzellen mit dendritenähnlichen Fortsätzen" in dieses präterminale Nervengespinst „eintauchen", kann ich nicht teilen, da mir jene Dendriten nur eine grobvakuolige Fixierungswirkung zu sein scheinen. Einzelne Nervenfasern biegen auch zwischen die Grenzzellen hinein ab; ob sie hier auch endigen, muß zweifelhaft bleiben.

Die *Nervenfasern, welche schließlich zu den äußeren Haarzellen* gelangen, gehen bei Katze, Maus und Meerschwein im allgemeinen als *rein radiäre Tunnelnerven* zunächst in die Reihen der Deitersschen Zellen hinein, wie mir besondere Querschnitte zur Schneckenaxe gezeigt haben. Nur beim Hund finde ich eine *überwiegende Anordnung dieser Tunnelnerven zu stark spiralig abgebogenen* und oft in dieser Richtung noch *verzweigten Nervenfaserzügen,* welche dann in *langen Kurven* in die faserreichen und zahlreichen Spiralnervenzüge an der Innenseite der ersten Deitersschen Zellreihe umbiegen. Beim Meerschweinchen zeigen die radiären Tunnelnerven öfters *obere* oder *untere Seitenzweige,* welche also vertikal abbiegen und dann erst in radiärem Verlauf zu den Deitersschen Zellreihen mit den ihnen ein- und angelagerten Spiralnervenzügen gelangen (Fig. 1 und 2 vom Meerschwein).

In Übereinstimmung mit RETZIUS finde ich *3 resp. 4* (beim Hund) *äußere Spiralnervenzüge*, welche auf axialen Längsschnitten „als Körnerreihen zwischen den DEITERSschen Zellen" resp. an der Innenseite der ersten Reihe auffallen. Bei ihrem *Übergang in den äußeren Spiralnervenstrang* zeigen vielfach (beim Meerschwein) die *radialen Nerven zahlreiche Teilungen*, sodaß zahlreichere Spiralfasern aus einem Tunnelnervern hervorgehen, (Fig. 1 und 2), welche *teils im ersten Spiralnervenzug weiter laufen*, teils auch durch *die Lücken der einzelnen DEITERSschen Zellen der ersten Reihe hindurch zum zweiten resp. zum dritten äußeren Spiralstrang* übergehen. Drittens kommen auch *aufsteigende Kollateralen* (auf Fig. 1 vom unteren Radialnerven, auf Fig. 2 vom mittleren) vor, welche zur Gegend des *unteren Kopfes* der betreffenden *DEITERSschen Zelle* ziehen.

Die *letzten Enden dieser Hörnervenfasern* gehen nach meinen bisherigen Erfahrungen schließlich zu den *rein basalen Flächen der äußeren* Haarzellen; sie sind teils *Kollateralen der äußeren Spiralnerven*, teils *aufwärts umbiegende Endfasern derselben.* Wie Fig. 1, 2, 33 und 29 zeigen, ziehen sie hierbei durch jenen *Schlitz im Stützkelch in den unteren Raum* ein, welcher zwischen dem rundlichen *Boden der äußeren Haarzellen und dem zugespitzten und von ihr nicht eingenommenen Teil des Stützkelches* selber frei bleibt. Sie füllen mehr oder weniger vollständig mit ihrer Protoplasmamasse diesen Raum aus, den ich als *Nervenraum* bezeichnen will.

Meistens treten *zwei und mehr terminale Hörnervenfäserchen* durch den Schlitz in diesen *Nervenraum der DEITERSschen Zellen* ein; *seltener* ist *ein* solches Fäserchen auf meinen Präparaten zu sehen, was nach meinen bisherigen Erfahrungen wahrscheinlich nur auf einem Abgeschnittensein oder Nichtgefärbtsein der übrigen Fäserchen beruht, da in vielen derartigen Fällen (s. Fig. 29 und 33) noch kurze unvollständige Enden vorhanden sind. Die *terminalen Nervenfasern* selber erscheinen als *gleichmäßige, fein granulierte* Fäden resp. als etwas *variköse Zweige* mit ungleichmäßigerer Neurosomenverteilung (s. auch Fig. 37). Im Nervenraum bilden sie dann *kurze, stark verdickte und meistens dicht granulierte Seitenstücke und Endstücke* aus, welche mit einander teilweise durch feine Querfäden verbunden erscheinen und im allgemeinen so zu einander angeordnet sind, daß sie eine jenem trichterförmig aus-

Digitized by Google

gezogenen Nervenraum entsprechende Gesamtform einnehmen. In sehr charakteristischer Weise erscheinen deshalb z. B. auf Längsschnitten und mit etwas geringerer Vergrößerung gesehen die *unteren Enden der äußeren Haarzellen von einer ungefähr kegelförmigen, dicht granulierten und bei meiner Färbung intensiv dunkel gefärbten Masse* besetzt, welche in der angegebenen Weise aus einer Summe einzelner Fäserchen und ihrer Zweige entsteht und zusammengesetzt ist. Die erwähnten *Endstücke* sind nun, wie auf Längsschnitten zu sehen ist, als ungefähr *dreieckige oder halbmondförmige Gebilde unmittelbar und eng dem Boden der äußeren Haarzellen angefügt;* sie entsprechen in ihrer Form und Struktur vollständig dem, was ich bei zentralen Nervenzellen als *Achsencylinderendfüße* früher beschrieben habe.

Im *CORTIschen Organ* würde also zum Unterschied nur eine *spärliche Ausbildung von Achsencylinderendfüßen an den Haarzellen* vorhanden sein. Um so klarer erscheint hier die morphologische Endbeziehung von Neuriten zu anderen Zellen als eine gewisse Summe neurosomenreicher Endfüße. Von der *Fläche* her gesehen zeigen sie einen dem Haarzellenboden angefügten Belag von ziemlich *eckigen* oder *sternförmigen größeren und kleineren Protoplasmaklumpen* (Fig. 28), welche durch *feine Fäden teilweise untereinander* verbunden sind und bei stärkerer Differenzierung jenes von den zentralen Nervenzellen her bekannte Bild von *Neurosomenhaufen* geben (Fig. 27).

Meiner Beschreibung des granulären nervösen Belages zentraler Nervenzellen und seiner Auffassung als einer vereinigten Endfläche zahlreicher Neuritenverzweigungen hat BETHE seinerzeit den wiederholten Vorwurf gemacht, daß es sich meinerseits lediglich um die Verkennung „zerfallener GOLGInetze" handele, welche durch mangelhaften Zutritt des Fixierungsmittels entstanden sei. Daß dies eine unrichtige Deutung BETHES ist, habe ich kürzlich (Arch. f. Anatomie 1902) nachgewiesen; nochmals an dieser Stelle hierauf zurückzukommen, geben mir meine folgenden *Beobachtungen an frisch untersuchten Haarzellen* des Gehörorgans vom Meerschwein Gelegenheit.

Ich kann hierbei an die wichtigen Beobachtungen von RETZIUS anknüpfen. RETZIUS hat zuerst an den Haarzellen des Kaninchens und der Katze Beobachtungen gemacht, mit welchen meine Angaben über jene Neurosomenhaufen an ihrer Zellbasis eine gewisse

Ähnlichkeit haben. Bei der Wichtigkeit der Frage nach dem epithelialen Ende der Hörnerven zitiere ich ausführlicher seine betreffende Beschreibung (das Gehörorgan der Wirbeltiere II) S. 228 vom Kaninchen: „unter dieser Ansammlung (gemeint ist der von RETZIUS gefundene Basalkörper der Haarzellen) treten ein größerer oder zuweilen mehrere kleinere, gelblich glänzende, stark lichtbrechende, scharf begrenzte, etwas zugespitzte Körper von dem Zellrande, oft etwas nach der Seite hin, hervor; wenn die Zellen vom unteren Ende betrachtet werden, sieht man ebenfalls die Anordnung und Gestalt dieser eigentümlichen Körper; welche Bedeutung nun diese Gebilde haben, kann ich nicht sagen; möglicherweise sind sie nur als eine Art „Pigment" aufzufassen; sie ähneln andererseits nicht wenig gewissen Endscheiben oder Endkörperchen peripherer Nerven; merkwürdig ist in dieser Beziehung jedenfalls, daß sie gerade mit den hier vorbeistreichenden spiralen Fäserchen zusammentreffen und, wie es scheint, mit ihnen zusammenzuhängen scheinen", und S. 323 über die äußeren Spiralfasern bei der Katze: „Wie verhalten sie sich nun zu den äußeren Haarzellen? Sie biegen sich nicht zu diesen empor, aber die obersten Fasern jedes Zuges kommen mit den unteren Enden der Haarzellenreihen in Berührung; wie schon oben erwähnt wurde, findet man an diesen Zellenenden glänzende Körper, welche an den Nervenfasern haften; ob sie aber eine wirkliche Vermittlerrolle dabei spielen, kann ich nicht sagen, sondern ich will nur auf ihr Vorkommen aufmerksam machen. Nie sah ich diese Nervenfasern sich nach oben biegen und in einer oder der anderen Weise an oder in den Haarzellen endigen. Wie weit jede Faser läuft und in welcher Weise sie endigt, blieb mir deshalb bei der Katze, wie beim Kaninchen, verborgen. Diese wichtige Lücke unserer Kenntnisse zu füllen, bleibt also kommenden Forschungen vorbehalten."

Als ich meine ersten Nervenfärbungen im CORTIschen Organ erhielt und die oben beschriebenen eckigen granulär gebauten Endfüße als Anschwellungen der letzten und feinsten Hörnervenfäserchen erhielt, die zugleich, wie Fig. 33 zeigt, die von RETZIUS vermißten *Bindeglieder zwischen den Spiralnerven und jenen glänzenden Gebilden* erkennen ließen, konnte ich bereits seine Körperchen mit meinen Neurosomenhaufen identifizieren und in den RETZIUSschen Beobachtungen einen Beweis dafür erblicken, daß *solche granuläre*

Digitized by Google

Endfüße keine gröberen oder feineren Kunstprodukte wären. Späterhin habe ich dann mehrfach Untersuchungen an lebensfrischen Haarzellen der Meerschweinchenschnecke angestellt, die unmittelbar nach dem Tode, und zwar ungefähr in einer Zeit von 10 bis 30 Minuten, in Glaskörperflüssigkeit nach dem Vorgang von RETZIUS zur Beobachtung kamen. Figg. 26, 30 u. 32—36 geben einen Teil solcher Beobachtungen wieder.

Fig. 26 habe ich mit dem Zeichenapparat nach einem *isolierten Stück des frischen CORTIschen Organs aus der Reihe der äußeren Haarzellen mit ihren DEITERSschen Zellen entworfen.* Es stammt aus der ersten Schneckenwindung und war $^1/_2$ st. p. mortem zur Untersuchung gekommen. *Es läßt alle Details der Fig. 33,* die nach einem *fixierten und gefärbten Schnitt aus der gleichen Gegend* stammt, erkennen; es zeigt außerdem noch die DEITERSschen Verbindungsstiele, sowie die Phalangenfasern von NUEL und RETZIUS, welche nur auf der Fig. 33 wegen der besonderen Differenzierungsmethode entfärbt worden sind. Vor allem auch war das *Umbiegen der obersten Spiralnerven zu dem basalen akustischen Hügel der Haarzellen* klar zu beobachten.

Fig. 30 zeigt dann noch an isolierten Haarzellen aus der dritten Windung eines *zweiten,* ungefähr 1 Jahr alten Meerschweins, die verschieden großen, glänzenden RETZIUSschen Körperchen in Verbindung mit feinsten und verzweigten Nervenfäserchen, die, wie Fig. 35 an einer halb von der Basis her gesehenen Haarzelle angibt, noch untereinander in einer *netzigen Verbindung* stehen (s. hierzu das Fixierungsbild Fig. 27). Aus meinen Beobachtungen an einem dritten, auch ungefähr 1 Jahr alten Meerschwein, bilde ich noch das untere Ende einer äußeren Haarzelle aus der dritten Windung ab, die mir am deutlichsten bisher den akustischen Nervenhügel des unteren Zellpoles und seine teils kollaterale Verbindung mit einer Spiralnervenfaser, sowie mit einem zweiten, feineren Fäserchen gezeigt hat. Vor allem gibt die *untere Windung außerordentlich klare frische Bilder von den Endfüßen des Hörnerven,* daß sogar, wie die linke Haarzellengruppe der Fig. 26 wiedergibt, der *Zusammenhang zweier Haarzellen mit einem sich teilenden Nervenfaden* direkt sichtbar sein kann.

Außer jenem intensiven Glanz lassen diese Endfüße an der Haarzellenbasis noch eine *schwache Körnelung* angedeutet erkennen, die *weiterhin* zusammen mit gewissen *Veränderungen* des Haar-

Digitized by Google

zellenprotoplasmas selber deutlicher wird und, wie Fig. 35 an ungefähr $^3/_4$ st. p. mortem gezeichneten Haarzellen angibt, zu einem *matteren Aussehen* und einer *Aufquellung und Vergrößerung der Körperchen* führt. Daß also, wie behauptet worden, die Neurosomen alle nichts weiter als Kunstprodukte sind, dagegen spricht jenes von Anfang an vorhandene leicht gekörnte Aussehen der akustischen Endfüße. Immerhin kann ein Teil derselben sehr wohl Fällungsgranula im Sinne von A. FISCHER sein, da ja relativ bald der Glanz jener Gebilde zurückgeht und einer *deutlicheren, körnig aussehenden* Struktur Platz macht, sofern man nicht letzteres allein auf Veränderung der ursprünglichen Lichtbrechung zurückführen will. Es fragt sich weiter, ob die *Hörnervenendfüße den Haarzellen nur locker* anliegen, wie die Neuronlehre behauptet hat, *oder irgend eine festere Anfügung* ausgeprägt ist. Nach meiner Meinung lassen bereits jene Untersuchungen von RETZIUS ein *festes Haften seiner glänzenden Körper* erkennen und lassen also die Vorstellung einer losen Anlagerung nicht mehr zu. Ebenso zeigen meine neuen Beobachtungen, daß die Frage nach der Verbindung des Hörnervenendprotoplasmas mit der Haarzelle durch die Annahme eines irgendwie nur lockeren Kontaktes im Sinne der Neuronlehre nicht erledigt sein kann. Denn wenn die ganzen und vielen Maltraitierungen, welche die Haarzellen von der Herausnahme aus ihrem knöchernen Gehäuse an erleiden, *nicht zu einer Abstreifung des akustischen Endhügels oder Faserkorbes* führen, so muß man doch wohl mit Recht fragen, was für ein Modus von lockerem Kontakt oder einer freien, rein äußerlichen Anlagerung sonst noch übrig bleiben soll. Das Verschieben des Deckglases, sogar sein vollständiges Abheben und eine dadurch verursachte stärkere Zerrung sind nicht imstande, jene Endfüße von der Haarzelle zu lösen. Ebensowenig vermögen ein auf das Deckglas ausgeübter Druck oder Isolierungsversuche mit Nadeln jene letzten Endfüße vollständig von den Haarzellen abzubringen. Im gleichen Sinne sprechen dann auch Beobachtungen, die ungefähr 1 Stunde post mortem leicht und in großer Zahl an stark veränderten, kugelförmig aufgetriebenen Haarzellen gemacht werden können. Fig. 32 zeigt, daß selbst eine solche hochgradig veränderte Zellform nicht ihre basalen Endfüße hat abstreifen können. Wenn nur ein lose aufliegender Faserkorb vorhanden wäre, müßte doch sicherlich die sich aufblähende Zelle mit Leichtigkeit aus ihrem unteren Kelch von

Digitized by Google

Nervenfasern entschlüpfen. So bleibt also nach meiner Ansicht nur die Annahme einer irgendwie *festeren Anfügung durch Endfüße* übrig, die vom Standpunkt der Hisschen Neuroblastenlehre aus durch eine terminale und partielle *Verwachsung der ursprünglich freien Hörnervenfäserchen mit dem basalen Abschnitt der Haarzellen* entstanden gedacht werden kann. Wie diese Verbindung genauer beschaffen ist, vermag ich vorläufig nicht näher anzugeben. Nur soviel kann ich sagen, daß meine Beobachtungen an frischen wie fixierten und gefärbten Haarzellen mir bisher gezeigt haben daß die sonst überall glatte und starke Zellmembran an der Stelle jener Achsencylinderendfüße eine *unruhige, etwas unscharfe*, aber der Hauptsache nach schwer zu definierende *Zeichnung* gibt, die aber andererseits nicht so scharf ist, daß man von einem Fehlen der Zellmembran an dieser Stelle sprechen dürfte.

Von Ichita Kishi (Über den peripheren Verlauf und die Endigung des Nervus cochleae. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 59. 1901) ist kürzlich angegeben worden, daß „die Endfasern des N. cochlearis, welche an die Haarzellen treten, in je ein bisher noch von niemand beschriebenes, an dem unteren Ende der Haarzelle befindliches Gebilde von kelchförmiger Gestalt übergehen", welches „als Teil der Haarzellen" aufgefaßt werden soll und manchmal deutlich durch „ein kurzes Fädchen mit dem äußeren Spiralnervenzug verbunden" ist. Auch bei den Riechzellen kommt nach Kishi ein solcher basaler Kelch vor, woraus er schließt, daß die Haarzellen im Sinne von Ayers als Ursprungszellen des Hörnerven gelten müßten. Zu diesen Ausführungen von Kishi habe ich zu bemerken, daß *erstens* dieses sein „kelchförmiges Gebilde" *kein unterer Teil der eigenen Haarzellenmasse* sein kann, da es durch die *Membran der Haarzelle abgegrenzt* ist, daß *zweitens* dieses Gebilde insofern nicht ganz neu und unbekannt ist, als Retzius bereits jene letzten Anhaftungsstellen der Hörnervenfasern als isolierte glänzende Körner und Kegel gesehen hat und außerdem Retzius und R. y Cajal schon eine ziemlich vollständige Silberfärbung der *pinselartigen Aufzweigung jener Nerven am unteren Haarzellenende* gefunden und abgebildet haben, und daß *drittens* nicht „ein kurzes Fädchen", sondern oft *zwei und mehrere Nervenfäserchen* zu diesem *basalen Nervenendapparat der Haarzelle* zusammenkommen, wie meine obigen Angaben zeigen.

Ich halte also dafür, daß das von Kishi gefundene kelch-

Digitized by Google

förmige Gebilde, welches auf seinen Zeichnungen wie eine ungegliederte, kompakte und einfach nach unten zugespitzte Masse der Haarzelle ansitzt, aus einer unvollständigen Beobachtung an nicht hinreichend klaren Präparaten entstanden ist. Nur darin stimme ich seinen Angaben bei, daß jene basale Masse zu einem Teil körnig gebaut ist. Aber auch seine letztere Angabe ist nicht neu, wenn man die Angaben von KATZ berücksichtigt, der bisher über die Endigungsweise des Hörnerven die zuverlässigsten Angaben gemacht hat.

Die Beobachtungen von KATZ (Verhandlungen der otolog. Sektion auf der 68. Vers. deutsch. Naturf. und Ärzte 1896) besagen beim Kaninchen, daß die *radiären Nervenfasern durch den offenen Raum des zangenbecherförmigen Gebildes* eintreten und ein *kelchähnliches Ende* zeigen, und daß weiter auf Zupfpräparaten (Formalinfixierung der Schnecke von der Maus) jenes Ende als eine *grobgranulierte Masse an dem unteren Haarzellenende* liegt und somit (Deutsche otol. Gesellschaft 1897) den *Raum zwischen der Basis der CORTIschen Haarzelle und dem zangenbecherförmigen Gebilde ausfüllt.* Meine obigen Beobachtungen können also diese Angaben von KATZ durchaus bestätigen. Über das Ende des Hörnerven bei der Katze liegt endlich noch eine kurze Mitteilung von GEBERG (Über die Endigung des Hörnerven in der Schnecke der Säugetiere. Anat. Anzeiger 1893. S. 21) vor, welcher mit der vitalen Methylenblaumethode auf dem Blutgefäßwege einige Nerven im CORTIschen Organ gefärbt erhalten hat. Wie RETZIUS läßt er sie frei mit kleiner knopfförmiger Anschwellung enden, welche bei den inneren Haarzellen zwischen ihnen, bei den äußeren am verjüngten unteren Zellende locker anliegen soll. Die Angabe vom freien Ende *zwischen jenen inneren Sinneszellen* wird wohl auf unvollständiger Färbung beruhen. Sonst aber scheint mir seine kurze Angabe über jene Enden an den äußeren Haarzellen, soweit sich aus der beigefügten Zeichnung entnehmen läßt, dem zu entsprechen, was ich oben über die Hörnervenendfüße angegeben habe; nur daß sie nicht frei anliegen, wie GEBERG im Anschluß an RETZIUS gemeint hat.

4. Struktur der Haarzellen.

Beim Meerschweinchen habe ich ausgiebig und an zahlreichen Schnecken verschieden alter Tiere die Haarzellen im frischen Zu-

Digitized by Google

stande beobachtet. Ich gehe deshalb bei Beschreibung ihrer Struktur von diesen hier sichtbaren inneren Formen aus.

Die *äußeren oder inneren Haarzellen der basalen Windung* sehen in Humor aqueus untersucht wie *glashelle Schläuche* aus, die bei den *inneren Zellen dicker, gedrungener* und mehr *kugelrund am unteren Ende* sind wie bei den *äußeren Reihen*, welche *schmäler und schlanker* und mehr eine *ovale Abrundung* ihres unteren Zellendes zeigen. *Eigene Fortsätze habe ich nie gesehen;* zumal bei den inneren Zellen war immer eine deutliche und nirgends unterbrochene Zellmembran in den gelungenen Präparaten von kleineren Stücken des ganzen Organs vorhanden, weshalb ich alle jene Angaben über Dendriten solcher Zellen für unrichtig halte, ganz abgesehen von jenen Gründen, die, wie oben gezeigt, aus der besonderen Fixierungswirkung bei diesen etwas dünnwandigeren Zellen abgeleitet werden müssen. Die *äußeren Haarzellen* sind *besonders starkwandig*; ihre Membran erscheint resistent, sodaß sie bei Faltungen des Präparates nicht weiche sondern harte und scharfe Knickungen erfährt. Daß sie in einiger Zeit nach dem Tode durch innere Quellungsvorgänge im Protoplasma stark ausgedehnt werden kann, habe ich bereits oben bei Schilderung der ihr angehefteten Endfüße angegeben.

Das *Protoplasma* erscheint *unmittelbar nach dem Tode wasserklar* mit im allgemeinen nur *wenigen*, der Zellwand näher liegenden, kleinen *Körnchen*, die, was auch RETZIUS früher gesehen, Molekularbewegungen zeigen. Nur das *basale Zellende* ist, wie RETZIUS gefunden und ich bestätigen kann, *konstant durch eine dichtere, kugelförmige Gruppe von Granulis* ausgezeichnet. Am *oberen Zellende* finde ich mitunter eine *Gruppe hellglänzender kleiner Tröpfchen* von unbekannter Substanz. Der *Kern* ist im *Anfang vollkommen klar und ohne jede Strukturierung;* er ist von einer deutlichen, etwas glänzenden und nicht sehr dicken Kernmembran eingefaßt, die also nur einen *flüssigen Inhalt* umschließen würde. Die *Haarzellen der zweiten Windung* gleichen in ihrem sichtbaren Bau völlig denjenigen der ersten, wenn ich von ihrer allgemeinen Länge und derjenigen ihrer Haare absehe, worauf ich noch näher eingehen werde.

Dagegen habe ich bei den *Haarzellen der dritten und vierten Windungen zwei konstante Sonderbildungen* gefunden; *erstens* eine ziemlich große *Vakuole*, die teils im Innern, teils einer Wand an-

Digitized by Google

liegen kann, welche auch RETZIUS gesehen und als HENSENschen Körper bezeichnet hat, weil er aus ihr die Fixierungsbildung des HENSENschen Spiralkörpers herleiten zu müssen geglaubt, was aber nicht richtig ist, da schon HENSEN selber (Arch. f. Ohrenheilkunde 1873 S. 30) von dessen „Kapsel" ein unter ihm gelegenes „kernartiges Gebilde" unterschieden hat; und *zweitens* eine *Fasereinlage*, die aus deutlich *glänzenden Einzelfasern* besteht, welche bald feiner, bald gröber sind, oft rein *parallel* liegen, und *mitunter auch spiralig gebogen* sind und *unter einander anastomosieren* können. Sie *reichen bis an den Kern;* nie habe ich sie bis an das untere Zellende selbst verfolgen können, soviel ich auch untersucht habe. Jene Vakuole liegt manchmal in ihrer Mitte, manchmal zwischen ihnen und einer Zellwand. (Fig. 36, Tafel IV). Nicht aus jener Vakuole, welche homogen oder feinkörnig gerinnt, sondern aus der bei der *Fixierung oder schon einige Zeit nach dem Tode von selbst erfolgenden Umformung* und *Zusammenpressung jener Fasereinlage* (Fig. 32) leite ich die Bildung des HENSENschen Spiralkörpers ab, an dem ich nicht wie HENSEN eine Kapsel mit einem umspinnenden Faden finden kann, sondern der nach meinen Beobachtungen allein aus zum großen Teil parallelen oder etwas spiralig gedrehten und teilweise mit einander verbundenen Einzelfasern zusammengesetzt ist. Für einen Nervenendapparat, wie HENSEN gemeint, kann ich ihn nicht halten.

Auf meinen fixierten und gefärbten Schnitten erscheint die Fasereinlage oft dunkelschwarz gefärbt; sie zeigt keine Besonderheiten, die man nicht auch am frischen Präparat, nur blasser, sehen kann. Da sie keine konstante Bildung aller Haarzellen ist, habe ich eine solche Abbildung nicht beigegeben; ihr frisches Aussehen zeigt die angegebene Figur.

Sehr bald, schon 20 Minuten nach dem Tode, beginnen nun die *ersten Veränderungen des Protoplasmas.* Die *winzigen und wenigen Körnchen* werden *zahlreicher*, sodaß bald, wie Fig. 34 zeigt, die *ganze Haarzelle* außer dem noch homogenen Kern *feinkörnig* aussieht. Diesem Zustand entsprechen auch meine Fixierungsbilder, welche also jedenfalls, insofern eine ganz frische Haarzelle weniger dicht gekörnt erscheint, eine künstliche Entmischungs- oder Gerinnungsstruktur erhalten haben.

Weitere Veränderungen führen zu *Quellungen* der *Körner und Bildungen von Ringgranulis,* zu welcher Zeit dann auch *Trübungen*

Digitized by Google

und Ausfällungen des Kernes eintreten. Mit den *Kernstrukturen* wird es dementsprechend auch nicht viel besser bestellt sein wie mit dem granulären Bau des Haarzellenprotoplasmas. Meine Beobachtungen an frischen Haarzellen haben also damit kein wesentlich neues Resultat im Vergleich mit den Angaben von RETZIUS. Dagegen ist mir an dem *Haarbesatz* etwas aufgefallen, was zum Teil bisher wenig beobachtet worden ist, was mir aber für die Frage nach den mitschwingenden Teilen im CORTIschen Organ im Sinne der HELMHOLTZschen Theorie von großer Wichtigkeit zu sein scheint.

Erstens erscheinen auf meinen gefärbten Präparaten die *Haare nicht gleichmäßig dick oder dünn,* wie bisher immer gezeichnet worden ist, sondern nach *Art eines Pfeiles* mit einer *besonderen und sehr feinen Spitze der oberen cutikularen Platte der Haarzellen eingefügt* (Fig. 15, Tafel III). Die feinste Spitze selber entfärbt sich leichter, sodaß dann die Haare scheinbar schon vor dem Zellrand aufzuhören scheinen; ihr übriger, sich verbreiternder Teil dagegen bleibt lange intensiv dunkel gefärbt, während der äußere Abschnitt des ganzen Haares wiederum schneller die Farbe verliert. Ich will ersteren als *Spitze,* letzteren Teil als *Schaft der Haare* bezeichnen. Diese Art der Einfügung der Haare läßt also dieselbe *außerordentlich geeignet* erscheinen, auf *zugeführte Schwingungen durch leichtes Nachzittern zu antworten,* wie es einem leicht mit seiner Spitze eingedrungenen Pfeil eigen zu sein pflegt. Eine *zweite Eigenschaft des Haarbesatzes dieser Zellen hängt mit ihrer Lage* zusammen und ist in einer in den *verschiedenen Windungen höchst ungleichen Länge der Haare* enthalten, was bereits von RETZIUS zum großen Teil gefunden worden ist. So gibt er (l. c. S. 292) vom Kaninchen z. B. an, daß „die inneren Haare konstant ein und ein halbes Mal so lang wie die Haare der äußeren Haarzellen seien"; wichtig sind auch seine Messungen, die an den Haarzellenhaaren von Kaninchen, Katze und Mensch ausgeführt zeigen, daß die inneren und äußeren *Haare beim Kaninchen* sowie die inneren beim *Menschen von der Basis bis zur 2. Windung zunehmen,* um dann bis zur Spitze gleiche Länge zu behalten, während die *äußeren Haare der menschlichen Schnecke der dritten Windung zu noch eine beträchtliche Verlängerung* erhalten, die schließlich fast die *doppelte Länge zu derjenigen in der 1. Windung* beträgt.

Digitized by Google

Nach meinen Beobachtungen ist die Sache noch komplizierter. Es sind auch die *Haare der äußeren Haarzellen unter sich sehr ungleich.* Beim Meerschwein finde ich folgende Verhältnisse: Zu *Anfang der basalen Windung* sind im Sinne von RETZIUS die *inneren* Haare im allgemeinen *beträchtlich länger wie die äußeren;* unter den *äußeren* sind aber wiederum die *Haare der ersten Reihe kürzer,* wie diejenigen der *zweiten,* und diese wiederum *kürzer, wie diejenigen der dritten Reihe.* Diese *Zunahme der Haarlänge bei den äußeren Haarzellen von der ersten bis zur dritten Reihe gilt für alle Windungen,* und zwar so, daß die *Haarlänge der einzelnen Reihen mit der Windungshöhe des* CORTIschen *Organs wächst, während der Unterschied der Haarlängen in den drei äußeren Zellreihen untereinander im allgemeinen relativ gleich bleibt.* Auch bei den *inneren Haarzellen nimmt der Schneckenspitze zu die Länge ihrer Haare zu,* aber nicht in *dem Maße wie bei der zweiten und dritten äußeren Reihe.* Infolge dessen wird in der Mitte der zweiten Windung bereits die *Länge der inneren Haare* von derjenigen der *Haare der dritten äußeren Reihe* erreicht. Die *Haare der zweiten äußeren Reihe* werden dagegen erst in der *Spitzenwindung so lang wie die inneren,* während diejenigen der *ersten äußeren Haarzellenreihe konstant* in der *ganzen Länge des* CORTIschen *Organs die kürzesten bleiben* (Fig. 1—4 und außerdem Fig. 40a). Bei *Katze* zeigt Fig. 40b die relativen Längenverhältnisse der einzelnen Haare in den verschiedenen Windungen; zum Unterschied vom Meerschwein werden aber auch die Haare der zweiten äußeren Reihe nicht so lang wie diejenigen der inneren Haarzellen; sonst gilt aber für die drei äußeren Haarreihen das gleiche Verhalten unter einander. Im wesentlichen finden sich dieselben Sachen auch beim *Hund.* Eine *Besonderheit* gilt nur für die *Maus;* sie besteht darin, daß *erstens die äußeren Haare sehr wenig ungleich lang* sind, daß *zweitens erst in dem Ende der Spitzenwindung eine beträchtlichere Zunahme der Länge der äußeren Haare* eintritt, und daß drittens erst hier am Ende des CORTIschen Organs von den *Haaren der dritten Reihe die Länge der inneren Haare erreicht* wird. Außerdem sind bei ihr die inneren Haare viel substanzdichter gebaut, sodaß sie viel länger bei Differenzierungen gefärbt bleiben und sogar noch bei vollständiger Entfärbung der drei äußeren Haarreihen einen tief dunkel gebliebenen Schaftteil zeigen. Im übrigen gilt für die allgemeine Art der Stellung der Haare

Digitized by Google

auf der Deckplatte ihrer Zellen die seit v. Kölliker bekannte Tatsache, daß die *inneren Haare mehr quer oder in einem leicht nach außen konvexen Bogen* stehen, während die *einzelnen Haare der drei äußeren Reihen in starker Hufeisenform arrangiert* sind.

Eine besondere Fortsetzung der Haare in das Zellinnere unterhalb jener von ihren Spitzen durchlöcherten Deckplatte habe ich bisher nicht gesehen; ebensowenig habe ich in den oberen Windungen der Meerschweinchenschnecke einen deutlichen Zusammenhang etwa mit den einzelnen Endteilen jener Fasereinlage nachweisen können. Als intracelluläre Leitung für die Erregungen der Haare zu dem unteren Nervenpol und speziell zu jenen angehefteten Endfüßen muß also bis auf weiteres jene allgemeine flüssige Protoplasmamenge angesehen werden, welche den Leib der Haarzellen anfüllt.

Allgemeine Bemerkungen über die Einrichtungen des Cortischen Organs.

Die folgenden Auseinandersetzungen sollen allein dazu dienen, die morphologische Zergliederung, die ich in den obigen Beschreibungen am Cortischen Organ ausgeführt habe, wieder zusammenzuschließen und in eine allgemeine Vorstellung zu fassen, die sich im Lauf der Einzelbetrachtungen seiner Zellarten unwillkürlich aufgedrängt hat. Solche Anschauungsweise wird natürlicherweise in Folge jener auffallenden Stützeinrichtungen und jener engen Innervationswege, wie sie im Cortischen Organ ausgeprägt sind, eines physiologischen Inhaltes nicht entbehren können. Zwar bin ich mir wohl bewußt, wie mißlich es ist, aus äußeren oder auch inneren Formen eine funktionelle Wertigkeit abzuleiten. Da aber ein großer Teil von den bisher über die Bedeutung einzelner Teile des Gehörorgans geäußerten Meinungen auch von solcher Herkunft ist und außerdem auf einer weniger umfangreichen histologischen Analyse ruht, so mag im folgenden wiederum ein Versuch geboten erscheinen, die klanganalytische Eigenschaft der Gehörschnecke mit auf jene oben charakterisierten Stützapparate und ihre Beziehungen zu den Haarzellen zurückzuführen, mit denen die letzten Endfüße des Hörnerven verbunden erscheinen. Daß ich hierbei in den Hauptzügen nicht von der Helmholtzschen Theorie von mitschwingenden Einrichtungen der Gehörstrecke abweiche, und im besonderen mich auf die Hensenschen Beobachtungen über abgestimmte Hörhaare und seiner gleichen Auf-

fassung von den Saiten der Grundmembran und der von O. BAER allgemeiner geäußerten Anschauungen über die Bedeutung der einzelnen Zellelemente stütze, wird im folgenden klar werden, wenn auch die Art und Weise meiner Begründung im einzelnen eine besondere erscheinen mag.

Geht man von den Versuchen HENSENS aus, welche an den *Hörhaaren* der Dekapoden eine *gewisse Erscheinung der Resonanz* gezeigt haben, sowie von der *allgemeinen Bauart,* welche bei der ganzen Reihe der Wirbeltiere als *konstante Sinneszellen dieses Organs die Haarzellen* erkennen lassen, so erscheint die von BAER gefolgerte Fassung, daß die *Haare der Haarzellen in erster und letzter Linie die „für die Mitschwingungen abgestimmten Organe" der Gehörstrecke* sind, zunächst richtig. Dafür, daß die Haare am *leichtesten von allen Teilen des CORTIschen Organs auf zugeführte Bewegungen reagieren müssen,* spricht in erster Linie die *Art ihrer außerordentlich fein zugespitzten Einfügung* in die Deckplatte der Haarzelle. Daß sie *„abgestimmt"* sein können, beweisen jene *Längenunterschiede der Haare in den verschiedenen Windungen des CORTIschen Organs,* an die wohl nach unserer heutigen Anschauungsweise sicherlich eine bestimmte *Lokalisation für die Aufnahme verschieden hoher oder tiefer Töne* gebunden ist. Die *Längenzunahme der Haare mit der Windungshöhe* kann also gut mit der bekannten Begründung in Übereinstimmung gebracht werden, wonach die Fähigkeit, tiefe Töne wahrzunehmen, an die Spitzenabschnitte einer Schnecke gebunden ist. Ebenso kann für die Erklärung des klanganalytischen Umfanges der Gehörorgane der höheren Wirbeltiere die Zahl der Haare und ihrer verschiedenen Längen durchaus zu Grunde gelegt werden, zumal wenn man noch die Längenunterschiede der äußeren Haare berücksichtigt, wie sie meine Beobachtungen anzeigen.

Da ferner auch bei den *Haarzellen* der *receptorische Teil der nervösen Gehörsleitung* beginnt, welcher, wie jene obigen Angaben zeigen, in den Hörnervenendfüßen des dem Haarbesatz entgegengesetzten Zellpoles enthalten ist, so erscheint auch in dieser Begründung die Reihe der Haarzellen als wichtigstes Element, an dem die Schallwellen angreifen müssen. Nur frägt sich, wie ihre *Zuleitung* zu den Haaren erfolgt, und vor allem, ob sie allein durch die *Saiten der Grundmembran aufgenommen und somit schon erst einer circumskripten Gruppe von Haarzellen durch*

Digitized by Google

die entsprechenden Anteile ihres Trag- und Stützapparates zugeführt werden, oder ob andererseits die einzelnen Bewegungen in der Endolymphe auch *an und für sich die zu ihnen abgestimmten Gruppen von Haaren gesondert erregen können.* Da wahrscheinlich von der Fenestra vestibuli her die Schallwellen eintreten und die Scala vestibuli durcheilen, und da ferner anzunehmen ist, daß sie durch das Helicotrema als einem wegen seiner Enge zu großen Widerstande abgehalten werden, hier in die Scala tympanica weiterzugehen, so werden also jene Bewegungen den *Ductus cochlearis* durchqueren müssen, um in die Scala tympani zu gelangen, und also hierbei jene *Haare in Mitschwingung* versetzen können. Daß die Membrana tectoria eine solche direkte Erregung der Sinneshaare, auf denen sie nach der heutigen und wohl richtigen Anschauungsweise wie ein weiches Kissen ruht, verhindern würde, ist schwer zu entscheiden. Jedenfalls erscheint sie geeignet, ein allzu langes Nachzittern jener Haare selbst zu verhindern.

Als eine *weitere* und hervorragend zum *Mitschwingen geeignete Einrichtung* des Gehörorgans muß die *Membrana basilaris* gelten, da sie nach HENSEN aus zahlreichen radiär geordneten und gespannten Saiten besteht. Und da sie außerdem in der verschiedenen Windungshöhe der Schnecken aus sehr ungleich langen Saiten zusammengesetzt ist, deren Länge allmählig von unten nach oben um mehr als das 12fache zunimmt, so wird ihr sicher die Eigenschaft zukommen müssen, eine große Summe verschiedener Eigentöne zu haben. Die bei einem bestimmten Ton schließlich mitschwingende geringe Zahl von Saiten von gleichem Eigentone würde also auch *den ihrer Breite entsprechend aufgespannten Abschnitt* (Figg. 19, 22) *des Trag- und Stützbogens der Haarzellen von unten her erregen müssen.* Seine bogenartige Zusammensetzung aus gespannten Fasern, seine besonderen Fassungen für die beiden Enden der Haarzellen lassen ihn in hohem Grade hierzu geeignet erscheinen.

Hierbei muß jedoch die wichtige Frage entschieden werden, ob solche *in den Stützfasersystemen aufsteigenden Erschütterungen* die ganzen Haarzellen, oder etwa die im unteren Kopf der DEITERSschen Zellen gelegenen Nervenmassen oder wiederum nur die *Haare* als die *letzten* und empfindlichsten *freien Teile dieser Sinneszellen* in *Oscillationen* versetzen würden.

Eine Beweglichkeit der ganzen Haarzellen scheint mir nach

dem, was ich oben über die allgemeine Zusammenfügung und Verkittung eines in sich gespannten Trag- und Stützapparates angegeben, ausgeschlossen. Vielmehr ist der Eindruck, den ich von diesem ganzen komplizierten Befestigungsapparat der Haarzellen bekommen habe, der, *irgend welche Eigenschwingungen* oder gar *Zerrungen der Haarzellen* infolge einer gewissen Beweglichkeit ihrer ganzen Masse in jener Tragvorrichtung auszuschließen, damit nur reine Oscillationen ihrer Haare als letzte Wirkung jener Wellenbewegung der Grundmembransaiten zur Geltung gelangen. Auch hier würde schließlich ein längeres und störendes Nachschwingen der Haare durch die auf ihnen liegende Masse der Membrana tectoria beseitigt werden.

Die letzte *Umleitung* der von den Schwingungen der Grundmembran her stammenden und zu *Schwingungen der Sinneshaare* transformierten Bewegungen zum *Hörnerven* hin würde also *im Protoplasma der Haarzellen selber* vor sich gehen. Eine direkte Erregung der Hörnervenendfüße, im Nervenraum der DEITERSschen Zelle vom Stützkelch her oder etwa durch die dem Einfassungsring eng anliegende Fläche der unteren Haarzellenmembran erscheint mir aus dem Grunde unwahrscheinlich, der zur *Ausbildung von Haarzellen im Gehörorgan* führt.

Vergleicht man die beiden Wege, die für die Übertragung der Wellenbewegungen in der Schneckengangendolymphe konstruierbar sind und abgeleitet wurden aus der *auffallenden Längendifferenz der Haare* und *andererseits der Saiten der Grundmembran*, so braucht solche Vergleichung keineswegs zu dem Resultat zu führen, daß nur eins von beiden das richtige ist. Eine *direkte Erregung der Haare* wird jedenfalls *nicht allein* vorkommen; denn welchen *Zweck hätte dann die komplizierte Struktur der Grundmembran?* Aber bei alleiniger Berücksichtigung des indirekten Weges bleiben jene ungleichen Längen der Sinneshaare unerklärlich, wenn man sich nicht etwa bei einer Hypothese beruhigen will, die früher von HENSEN aufgestellt worden ist und besagt, daß die Reizung der Sinneszellen in einem einfachen Angedrücktwerden ihrer Haare gegen die Unterfläche der Membrana tectoria bestände. Dann würde nur der konvexen Fläche dieses herabhängenden Anschlagpolsters die Hohlung entsprechen, welche durch die radialen Niveauunterschiede der Haare gebildet ist.

Oder es sind die Haare in der Schnecke überhaupt nicht direkt

erregbar, wie diejenigen der vestibulären Sinnesorgane, von denen sie sich allgemein ja durch *kürzere Form* und andere *Art der Belastung* unterscheiden. Ihre *beträchtliche Längendifferenz* im CORTIschen Organ müßte dann nicht als eine *primäre Abstimmung* für die an ihnen vorbei laufenden Bewegungen der Endolymphe gelten, sondern erst eine solche sein, die sie zu den *einzelnen Abschnitten des CORTIschen Organs mit seinen verschieden großen Dimensionen in sekundäre Übereinstimmung* bringt. Mit der *Länge der Saiten, mit der Höhe des Tragbogens* u. s. w. stände dann auch eine entsprechende *Länge der Haare* in einfacher Beziehung, und ihre auffallende *Differenz in den drei äußeren Reihen* würde dann auch nur eine *direkte Beziehung* zu der *wechselnden Länge der Haarzellen*, der *DEITERSschen Zellen mit ihren Verbindungsstielen* und der *Einspannung in die Form des äußeren Tragbogens* sein. Mit anderen Worten, es gibt die ganze Reihe der allmählig länger werdenden Haare nicht einen abgestimmten Apparat, welcher direkt auf die Bewegungen der Endolymphe reagiert, sondern nur eine Einrichtung, welche sie zu dem klanganalytischen Organ der Grundmembran und seinen aufgespannten Sinneszellen in besondere Resonanz bringt. Vielleicht lassen sich solche Verhältnisse durch umfangreichere Messungen, die mir vorläufig noch fehlen, genauer als hier entwickelt worden, begründen, Proportionen also, die eine *regionäre Übereinstimmung zwischen der Länge der Grundmembransaiten, der Stützzellen, der Haarzellen und ihrer Haare überall gleichmäßig* enthielten.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

I. Der *Stützapparat der Haarzellen* im CORTIschen Organ der Säugetiere (Maus, Meerschwein, Katze, Hund) wird von *besonderen Stützzellen* zusammengesetzt, welche *teils durch eine tiefgreifende Ausbildung von festeren intracellulären Fasern* und eine *oberflächliche Ausprägung von Ringfassungen* oder auch durch letzteres allein von den übrigen Zellenmassen auf der Membrana basilaris ausgezeichnet sind, die nur ein allgemeines Lager für die Einfügung spezifisch differenzierter Zellen, der Stützzellen und der Haarzellen, abgeben. Zu den *faserreichen Stützzellen* gehören die *CORTIschen Pfeiler* und die *DEITERSschen Zellen, zu der zweiten Gruppe die inneren Phalangenzellen und Grenzzellen. Drei Arten von Stützfasersystemen* müssen unterschieden werden:

1. ein *allgemeiner Tragbogen,*
2. *basale Stützen dieses Tragbogens,*
3. *basale besondere Stützen der Haarzellen.*

Der *allgemeine Tragbogen* gliedert sich in drei Abschnitte, in einen *inneren Bogen,* welchen die Innenpfeilerzelle mit ihrer Kopfplatte liefert, in einen *äußeren Bogen,* welchen die Fasersysteme der dritten DEITERSschen Zelle bilden, und in einen *mittleren Teil,* welcher durch die verschränkten und verkitteten Reihen alternierender Kopfplatten gewisser Zellen, der Außenruder, der Außenpfeiler und der Phalangenplatten der DEITERSschen Zellen, zusammengesetzt ist und dadurch zahlreiche *Ringfassungen für die Köpfe der äußeren Haarzellen* liefert. Die *Ringfassungen* der einen *inneren Haarzellenreihe* liegen als eine *seitlich angegliederte Vorrichtung* am *axialen Winkel* des inneren Bogens; sie werden zusammengefügt aus den axialen Randausschnitten der Innenpfeilerkopfplatten resp. deren Innenschnäbel, sowie den Kopfplatten der inneren Phalangen- und Grenzzellen.

Die *unteren Schenkel des allgemeinen Tragbogens* sind durch die verkitteten Fußflächen des Innenpfeilers resp. der dritten DEITERSschen Zelle auf der *Membrana basilaris* befestigt. Beide Schenkel konvergieren leicht zu einander; der innere ist kürzer, leicht von innen her eingebogen, der äußere höher und ein wenig nach außen vorspringend, jener mittlere Teil mit seinen Ringfassungen erscheint in geringem Grade eingesunken, wodurch die eigentümliche Form des allgemeinen Tragbogens bedingt wird (Schema I S. 43).

Durch besondere *basale Stützen* ist wiederum von der Membrana basilaris her dieser *allgemeine Tragbogen ausgesteift* und *gespannnt gehalten;* sie werden von den unteren Fasersystemen des Außenpfeilers, den oberen seines Außenruders, sowie von den durchgehenden Fasern der Phalangenfortsätze der ersten und zweiten DEITERSschen Zellen gebildet. Die *Fußflächen aller dieser basalen Stützen* stehen auf den *stärker schwingenden Abschnitten der Membrana basilaris;* sie greifen den oberen Tragbogen mit seinen Ringfassungen der *äußeren Haarzellen* in einer *schräg-axial aufsteigenden Richtung* an. Für die *Ringfassungen der inneren Haarzellenköpfe* sind derartige *Stützeinrichtungen* nur *schwach* ausgeprägt; sie setzen sich aus den dünnen oberflächlichen Fortsätzen der inneren Phalangenzellen und der Grenzzellen zusammen. Infolge ihrer dicht dem Winkel des inneren Bogens angefügten Lage und

Digitized by Google

Eingreifen der kurzen und ausgesteiften Innenschnäbel erscheint ihre obere Befestigung jedoch als eine feste und sichere (Schema II, S. 44).

Die *dritte Gruppe im Stützapparat* der Haarzellen zeigt *besondere basale Stützen für das untere Ende der Haarzellen*, welche ohne dieselben frei vom Tragbogen herunterhängen und stärkeren Schwankungen bei den Schwingungen der Grundmembran ausgesetzt sein würden. Für die *inneren Haarzellen* sind sie wohl aus jenem allgemeinen Grunde ihrer axialen Lage, welche dem Ansatz der Membrana basilaris am Rand der Lamina spiralis ossea bereits nahe kommt, nur schwach entwickelt; sie werden von dem substanzarmen, dünnwandigen und grob vakuolisierten Protoplasma der unteren Hälften jener inneren Phalangenzellen und Grenzzellen zusammengesetzt. Die *äußeren Haarzellen* dagegen sind durch besondere *Stützkelche von Fasern* auf der Basilarmembran befestigt, welche DEITERS früher als „Verbindungsstiele" gesehen und für eigene Fortsätze der Haarzellen gehalten hat. Diese *Stützkelche* gehören aber als ein *unteres Fasersystem den DEITERS-schen Zellen* an; es reicht in ihnen bis zum *unteren, kelchartig ausgehöhlten Kopf*, welcher außerdem an einer *seitlich-axialen Wand eingeschnitten* ist. Dadurch ähnelt diese Einfassung des unteren Haarzellenendes, das bis zu seiner Kernhöhe eingelassen ist, der Wirkungsweise einer Klemmvorrichtung. (Schema III, Taf. V.)

II. Der *Stützapparat der Haarzellen*, der sie also am oberen wie unteren Zellende durch besondere Vorrichtungen gefaßt hält, erscheint *infolge seines inneren Baues aus bogenförmig gespannten und gegenseitig versteiften und verbundenen Fasersystemen* geeignet, sowohl seine Haarzellen sicher und fest zu tragen als auch die *Schwingungen der Grundmembran aufzunehmen und auf die ihnen eingefügten Haarzellen zu vermitteln*, als deren letzte *freie Endteile* die *Haare* erscheinen, welche mit *außerordentlich fein zugespitzten Enden* in der Deckplatte des Haarzellenkopfes drinstecken, sodaß sie in *leichter Weise* auf die ihnen von unten her zugeführten Schwingungen ansprechen müssen.

III. Die *Verbindung der Haarzellen* mit den letzten Endfäserchen des *Hörnerven* liegt ausschließlich am *unteren Abschnitt des abgerundeten Haarzellenleibes*. Zu den *inneren Haarzellen* gelangen die von der Habenula perforata an marklosen und ungleich fein granulierten nackten Neuriten, indem sie zwischen den weiter auseinander gewichenen Fußteilen der inneren Phalangenzellen

Digitized by Google

und Grenzzellen resp. zwischen ihren, den unteren Haarzellenenden zugekehrten Flächen emporsteigen. Zu den *äußeren Haarzellen* kommen die terminalen Hörnervenfasern aus den *äußeren Spiralnervenzügen*, welche an der ersten Reihe der DEITERSschen Zelle resp. in den schmalen Zwischenräumen der folgenden Reihen von DEITERSschen Zellen liegen. Sie sind teils *Kollateralen*, teils *umbiegende Endfasern*. Sie treten durch jenen *Ausschnitt in der Wand des Stützkelches* in den *unteren Raum jener Aushöhlung des unteren Kopfes* einer DEITERSschen Zelle ein, welcher trichterförmig sich verjüngt und deshalb vom rundlichen Haarzellenende unausgefüllt und als *Nervenraum* für die letzten Zweige dieser Hörnervenfäserchen frei bleibt. Durch eine Anzahl von konisch verdickten und an Neurosomen reichen *Endfüßen* sind dann schließlich diese *Nervenfäserchen mit dem unteren Pol der Haarzellen fester verbunden*.

Die *Erregungen der Haare* an dem Kopf der Haarzellen würden also durch das *Protoplasma der Haarzellen in seiner ganzen Länge bis zum unteren Nervenpol fortgeleitet werden*. Eine konstante und besondere Struktur, die dieser letzten intracellulären Reizleitung dienen könnte, ist bisher nicht erkennbar gewesen.

IV. Wie andere Epithelzellen zeigen auch die Zellen des Ductus cochlearis *oberflächliche*, schwerer entfärbbare Körnchen oder sogenannte *Centrosomen*. Speziell haben die Haarzellen des CORTIschen Organs je ein größeres Korn, die übrigen Zellen dagegen meistens einen Doppelkorn, einzelne auch drei und vier derartige Körnchen von unbekannter Bedeutung.

V. Die *Haarzellen der Macula resp. Crista acustica* sind nach dem Typus der centralen Ganglienzellen *vollständig an ihrer Oberfläche von einem neurosomenreichen Neuritenprotoplasma* bedeckt, welches aus der *intraepithelialen Aufzweigung markloser Fäserchen des Nervus vestibularis entsteht*.

Zum Unterschied von den Haarzellen des CORTIschen Organs haben also die *einzelnen Sinneszellen der vestibulären Sinnesapparate eine größere Achsencylinderendfläche zur Abgabe ihrer Reize*.

Digitized by Google

Figurenerklärung zu Tafel I—V.

Sämtliche Figuren habe ich nach eigenen Präparaten mit dem Abbeschen Zeichenapparat entworfen; ihre Ocular-Vergrößerung ist bei den einzelnen Abbildungen angegeben. Als Objektiv habe ich durchweg eine Homog. Immersion I von Hartnack benutzt; teilweise auch eine Seibertsche Imm. 1/16.

Figg. 1—4. Axiale Längsschnitte durch das Cortische Organ des ausgewachsenen *Meerschweins* aus der 1.—4. *Windung der Gehörsschnecke.* Oc. 6.

Fig. 5. Äußerer Umfang des Cortischen Organs mit dem äußeren Tunnel, den drei Deitersschen Zellen und den ihnen eingefügten äußeren Haarzellen von der *Spitzenwindung* der erwachsenen *Maus*; aus einem paraxialen Längsschnitt durch die Schnecke. Oc. 6.

Figg. 6 u. 8. Flächenbild der *Lamina reticularis* aus dem Endabschnitt der *basalen Schneckenwindung* der *Maus*. Fig. 8 mit Oc. 6, Fig. 6 mit Oc. 12 in Ansicht von der M. basilaris her gesehen. Beide Figuren zeigen den *basalen Typus* des Cortischen Organs in der Oberflächenzeichnung seiner Lamina reticularis.

Fig. 7. Flächenbild des Cortischen Organs aus der 2. Windung der Meerschweinchenschnecke; von dem Ansatz der Membr. Reissneri am Lig. spirale her gesehen und mit Oc. 6 gezeichnet. Seine einzelnen Zellelemente sind in verschiedener Tiefenanordnung bei einer im allgemeinen von links nach rechts in der Zeichnung aufsteigenden optischen Schichteinstellung dargestellt worden, um die Tiefenbeziehungen der schwarz erscheinenden Lamina reticularis anzugeben. Dieser Figur entspricht als Längsschnitt Fig. 2. Die Schicht am linken Rande der Fig. 7 ist bei einer tiefsten Einstellung der basalen Zellabschnitte des Cortischen Organs dicht über der Grundmembran gezeichnet worden; sie zeigt die Fußflächen der beiden Pfeilerzellen und der drei (I—III) Deitersschen Zellen mit den optischen Anschnitten ihrer Fasersysteme; in den beiden Pfeilerzellen sind außerdem die Kerne zu sehen. Rechts oben folgt diesem tiefen Zellmosaik ein Stück von der dritten Reihe Deitersscher Zellen (III) mit den ihnen eingefügten Haarzellenenden. Ihr Faserstab ist in der Mitte vom Kern verdeckt, lang angeschnitten erscheint ihr „Verbindungsstiel" als Stützkelch zum Haarzellenende, der hier zum Unterschied von Fig. 2 nur dünn ausgeprägt ist; quer abgeschnitten ist dagegen das System des *äußeren Tragbogens*, dessen *Fortsetzung bis zur Lamina reticularis* erst die rechte Seite der Figur bei aufsteigender optischer Einstellung wiedergibt.

Der größere mittlere Teil der Figur 7 zeigt die *Zeichnung der Lamina reticularis beim apicalen Schneckentypus* mit seinen charakteristischen *äußeren Tragbögen*; nach links zu ist diese Lamina weggelassen, um die Stellung der äußeren Haarzellen und der entsprechenden I.—III. Deitersschen Zellen unter ihr zu zeigen, wodurch die *ungleiche seitliche Ablenkung der Phalangenfortsätze* der *I. und II. Deitersschen Zelle* zu den entsprechenden *Bogenfortsätzen* der *III. Zelle* anschaulich wird.

Am rechten Rand der Figur ist oben die Aneinanderfügung der Deckzellen und ihre Lage auf den Bogenfortsätzen der III. Deitersschen Zelle angegeben,

Digitized by Google

in der unteren Hälfte dagegen durch Weglassen der drei äußeren Haarzellen die *Zusammensetzungen ihrer Ringfassungen* in der *Lamina reticularis externa* dargestellt worden.

Figg. 9 u. 10. Aus der 2. *Windung* der Gehörsschnecke vom erwachsenen *Hund*. Oc. 6. Zu ihnen gehört noch Fig. 18 auf Tafel III; sie geben zusammen drei verschieden tiefe optische Durchschnitte durch die *Zellelemente axialwärts vom inneren Tunnel* wieder bei einer *Ansicht von der Membrana basilaris her*. Fig. 9 zeigt bei tiefster Einstellung die *Lamina reticularis interna* und speziell die *basale Unterstützung der inneren Phalangenplatten* durch die *kurzen Innenschnäbel der Innenpfeilerzellen*. Fig. 10 läßt die *alternierende Stellung* der *inneren Phalangenzellen zu den inneren Haarzellen* in der mittleren Höhe dieser Elemente erkennen. Fig. 18 zeigt das Gleiche in einer in der Kernhöhe der inneren Phalangenzellen gegebenen Ebene.

Fig. 11. Axialer Längsschnitt durch das CORTIsche Organ vom erwachsenen *Hund*. Oc. 4. Aus der 2. Windung der Gehörsschnecke. Der Schnitt zeigt 4 DEITERSsche Zellen in radiärer Gruppierung und die Lage der *beiden äußeren zum äußeren Tunnel*.

Fig. 12. Aus dem Ende der 2. Windung der Gehörsschnecke einer *Maus*; *basaler Typus des CORTIschen Organs*. Verdichtungskörper in den basalen Stützkelchen der äußeren Haarzellen.

Fig. 13. Flächenansicht des CORTIschen Organs aus der 2. Schneckenwindung der *Katze*; links die Deckzellen des äußeren Tunnels, rechts oben die Bildung der äußeren Tragbögen durch das durchgehende Bogensystem der III. DEITERSschen Zellen, rechts unten allein die Außenruder und Kopfkörper der Außenpfeiler dargestellt ohne die sie bedeckenden, faserhaltigen Kopfplatten der Innenpfeiler.

Fig. 14. Aus einem Horizontalschnitt durch die Gehörsschnecke der *Maus*, welcher die *unteren Köpfe der DEITERSschen Zellen* im Querschnitt getroffen hat. Man sieht die offene Form der Stützkelche; die größere rechte Hälfte zeigt noch die Kerne der sonst entfärbten äußeren Haarzellen; die linke Seite zeigt einen optischen Durchschnitt durch den unteren und engeren Teil jenes Nervenraumes. Mit Oc. 6 von der Membrana basilaris her gesehen. Der Schnitt zeigt außerdem hier einen fast radiären Eintritt der Tunnelnerven in den Nervenraum der I. DEITERSschen Zellen.

Fig. 15. Aus einem paraxialen, geneigten Längsschnitt durch die Schnecke der erwachsenen *Katze*, welcher zur Richtung der Ebene der Außenpfeiler im Anfang der basalen Windung orientiert war. Infolgedessen sind die Außenpfeilermittelstücke lang angeschnitten und quer ihre Köpfe. Überlagert sind sie von den Kopfplatten der Innenpfeiler, in denen das System des inneren Tragbogens fast quer getroffen ist. Gestreift sind die inneren Haarzellenköpfe mit ihrem Haarbesatz. Man erkennt zwischen ihnen die eingedrungenen Innenschnäbel und ihre Überlagerung durch die quergetroffene innere Phalangenplatte. Oc. 6.

Fig. 16. Aus einem paraxialen und geneigten Längsschnitt durch die Schnecke vom erwachsenen *Hund*, dessen Ebene in die Neigung der Innenpfeiler der 1. Windung gebracht war. Infolgedessen ist ein genauer Längsschnitt durch die Region der inneren Haarzellen entstanden, welcher von der Achse her mit Oc. 6 gesehen worden ist. Man erkennt erstens die Dendritenlosigkeit dieser Sinneszellen an der überall rundlichen Zellmembran, zweitens die alternierende Einfügung der inneren Phalangenplatte und drittens die durch ihre Platte in der äußeren Hälfte durchschimmernden Innenschnäbel.

Fig. 17. Flächenbild der Membrana Reissneri vom *Hund*. Entfärbung bis auf Centrosomen.

Fig. 18. Siehe Erklärung zu Figg. 9 u. 10.

Fig. 19. Paraxialer Längsschnitt zu den DEITERSschen Zellenreihen der basalen Windung der Schnecke einer *Maus*. Ansicht der I. Reihe von der Achse her mit Oc. 6. Membrana basilaris quergetroffen.

Fig. 20. Ansicht einer *I. DEITERSschen Zelle* aus der 1. *Windung* von der *Maus* mit ihrem unteren Kopf und dem vom Hauptstück der Zelle abgehenden Phalangenfortsatz; vom Ansatz der Membr. Reissneri am Lig. spirale her gesehen mit Oc. 8. Die eingefügte Haarzelle ist infolge totaler Entfärbung nicht zu sehen.

Fig. 21. Aus einem Horizontalschnitt durch die 2. Windung der Gehörsschnecke vom *Hund*. Er zeigt die Querschnitte der Außenpfeiler, die Schiefschnitte der drei geschlossenen Reihen DEITERSscher Zellen mit ihren Fasersystemen und eine *vierte unvollständige Reihe* gleichwertiger Zellelemente. Oc. 4.

Figg. 22—24. Aus einem zur Ebene der DEITERSschen Zellen geneigten paraxialen Längsschnitt durch die Schnecke der *Katze*. Oc. 6.

Fig. 22. Elemente der *I. DEITERSschen Zellreihe* aus der *Mitte der* 1. *Windung*, von oben außen her gesehen.

Fig. 23. Die gleichen Stützzellen in ihrem oberen Abschnitt aus dem *Anfang der* 1. *Windung* von innen unten her gesehen.

Fig. 24. Dieselben Elemente in ihrem oberen Abschnitt aus dem *Anfang der* 3. *Windung* von innen unten her gesehen.

Fig. 25. Aus der 1. *Windung* der *Meerschweinchenschnecke*; paraxialer Längsschnitt durch die 1. Reihe DEITERSscher Zellen mit ihren dem Faserstab angefügten verzweigten Einschlußgebilden (s. auch Fig. 37 bei der 3. DEITERSschen Zelle); von oben außen her gesehen. Oc. 6.

Fig. 26. Ein frisch in Humor aqueus untersuchtes Stück vom CORTIschen Organ der 2. *Windung der Meerschweinchenschnecke*, welches äußere Haarzellen in ihrer gestützten Lage zu den DEITERSschen Zellen sowie ihre Innervation zeigt. $^1/_2$ st. p. mort. gezeichnet. Oc. 6.

Figg. 27 u. 28. *Querschnitte durch die unteren Köpfe der* 1. *DEITERSschen Zellen* aus der 2. *Windung* der *Meerschweinchenschnecke* mit Ansicht der Hörnervenendfüße an den betreffenden Haarzellenböden; von unten her gesehen. Fig. 27. Differenzierung der Endfüße auf Neurosomen; Fig. 28 weniger differenziert, sodaß die eckige, zackige Form der Füße und ihre teilweise Verbindung noch zu sehen sind (s. das frische Bild hierzu in Fig. 34 bei der mittleren Zelle). Oc. 8.

Fig. 29. Aus dem Längsschnitt des CORTIschen Organs der gleichen Windung durch die Region der 1. DEITERSschen Zellreihe; das gezeichnete Zellelement zeigt außer seinem Stützapparat die Einfügung der betreffenden äußeren Haarzelle mit angefügtem akustischen Endhügel; der eine lang angeschnittene Endnerv erscheint als Kollaterale eines der DEITERSschen Zelle aufliegenden obersten Spiralnerven. Oc. 8.

Figg. 30. 32. 34—36. *Äußere Haarzellen aus der Gehörsschnecke des Meerschweins* frisch in Humor aqueus untersucht; Oc. 6. Nur bei der großen Zelle in Fig. 34 mit dem netzigen Charakter der nervösen akustischen Endfläche ist mit Oc. 8 gezeichnet worden.

Fig. 30. Aus der 3. *Windung* eines 1 Jahr alten *Meerschweins*. $^1/_2$ st. p. mort. Kleine Endfüße.

Fig. 32. Veränderte und aufgeblähte Zellform. Bildung des Spiralkörpers.

Digitized by Google

Fig. 34. Von einem 2. Meerschwein. Die linke Zelle zeigt (wie auch die rechte in Fig. 36) die gerade Form der Fasereinlage mit angefügter Vakuole; aus der 3. *Schneckenwindung*.

Fig. 35. Aus dem Ende der 1. *Windung* eines 3. Meerschweins. $^3/_4$ st. p. mort. *Lange und gestielte Endfüße*, die deutlich granuliert geworden sind.

Fig. 36. Aus der 3. *Windung*. $^1/_2$ st. p. mort. Links zwei Haarzellenenden übereinander mit verschiedener Größe der Endfüße; die feinen in Verbindung mit mehreren Endfäserchen.

Fig. 31. *Macula acustica* von einem 3 *Tage alten Kätzchen*. Neurosomenfärbung.

Fig. 33. Aus einem paraxialen Längsschnitt durch die 1. *Windung* der Schnecke des *Meerschweins*. SEIBERT Hom. J. $^1/_{16}$. Oc. 6. Längsschnitt durch die Region der äußeren Haarzellen. Neurosomenfärbung. Stützfasern entfärbt.

Fig. 37. Aus einem fast axialen Längsschnitt durch die Schnecke eines *Meerschweins*. *Anfang der 2. Windung*. SEIBERT $^1/_{16}$. Oc. 8. Neurosomenfärbung der Endfasern des Hörnerven an den 3 äußeren Haarzellen.

Fig. 38. Rand einer *Crista acustica* der erwachsenen *Katze*. Oc. 6.

Fig. 39. *Macula acustica* der erwachsenen *Maus*.

Fig. 40. *Relative Längen der Sinneshaare* der Haarzellen des CORTISchen Organs. *a* vom *Meerschwein*, *b* von der *Katze*, *c* von der *Maus*.

Schema III. Gesamter Stützapparat der Haarzellen im CORTISchen Organ (apicaler Typus); ausgestützter und verstärkter Tragbogen schwarz, basale Stützen der Haarzellen rot, Stützzellen grau, allgemeines Zelllager weiß.

Fig. 2

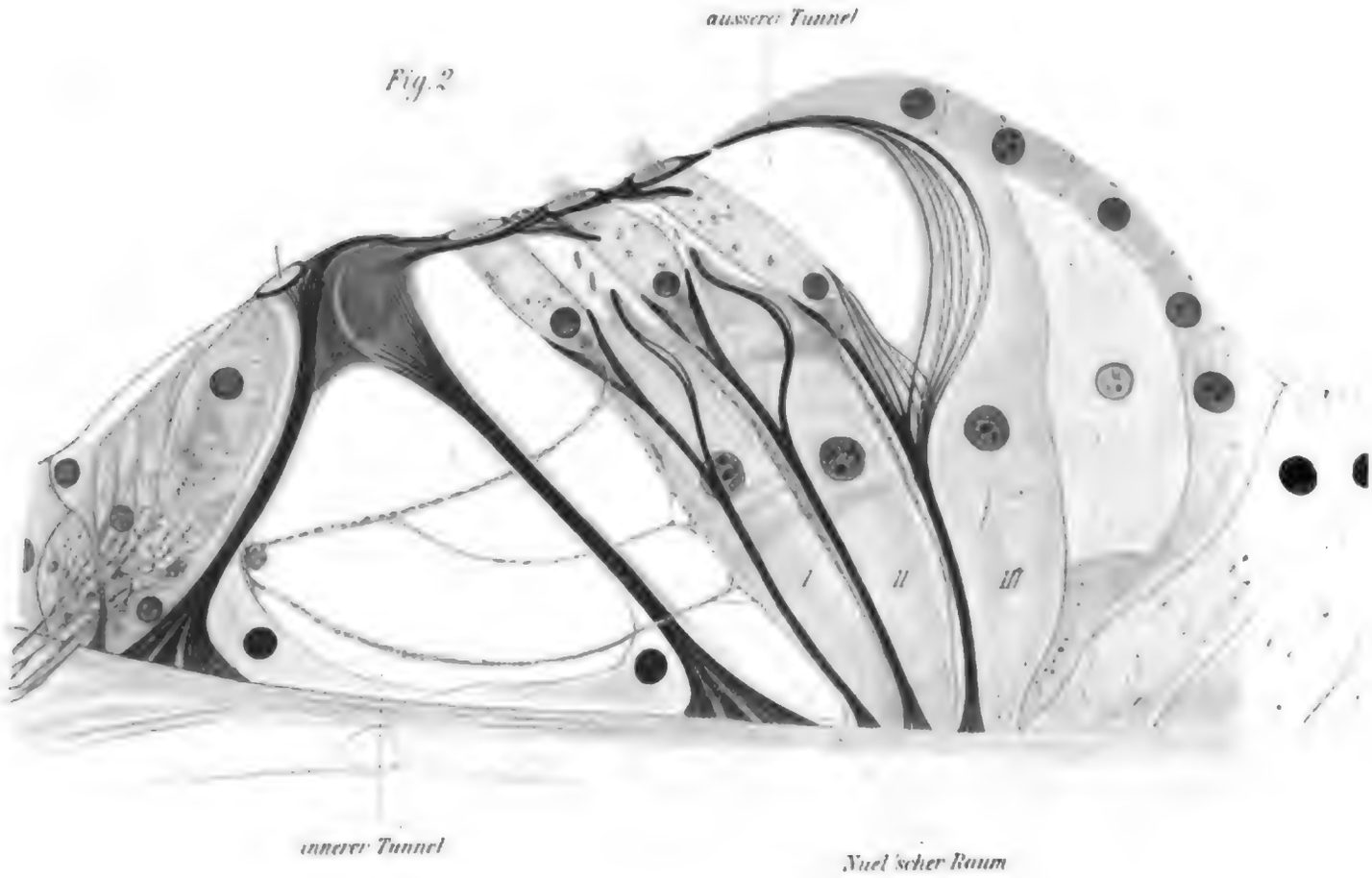
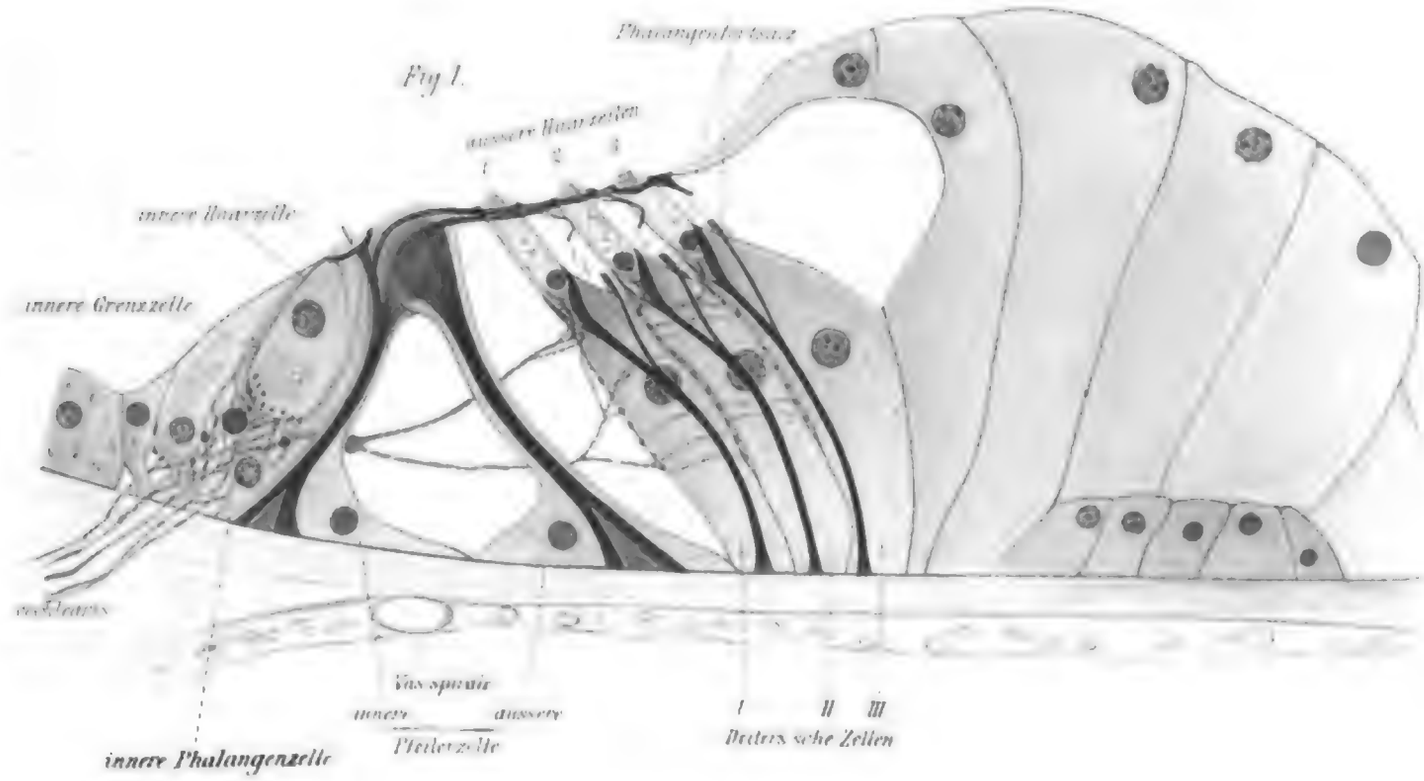


Fig. 1.



Digitized by Google

Fig. 2.

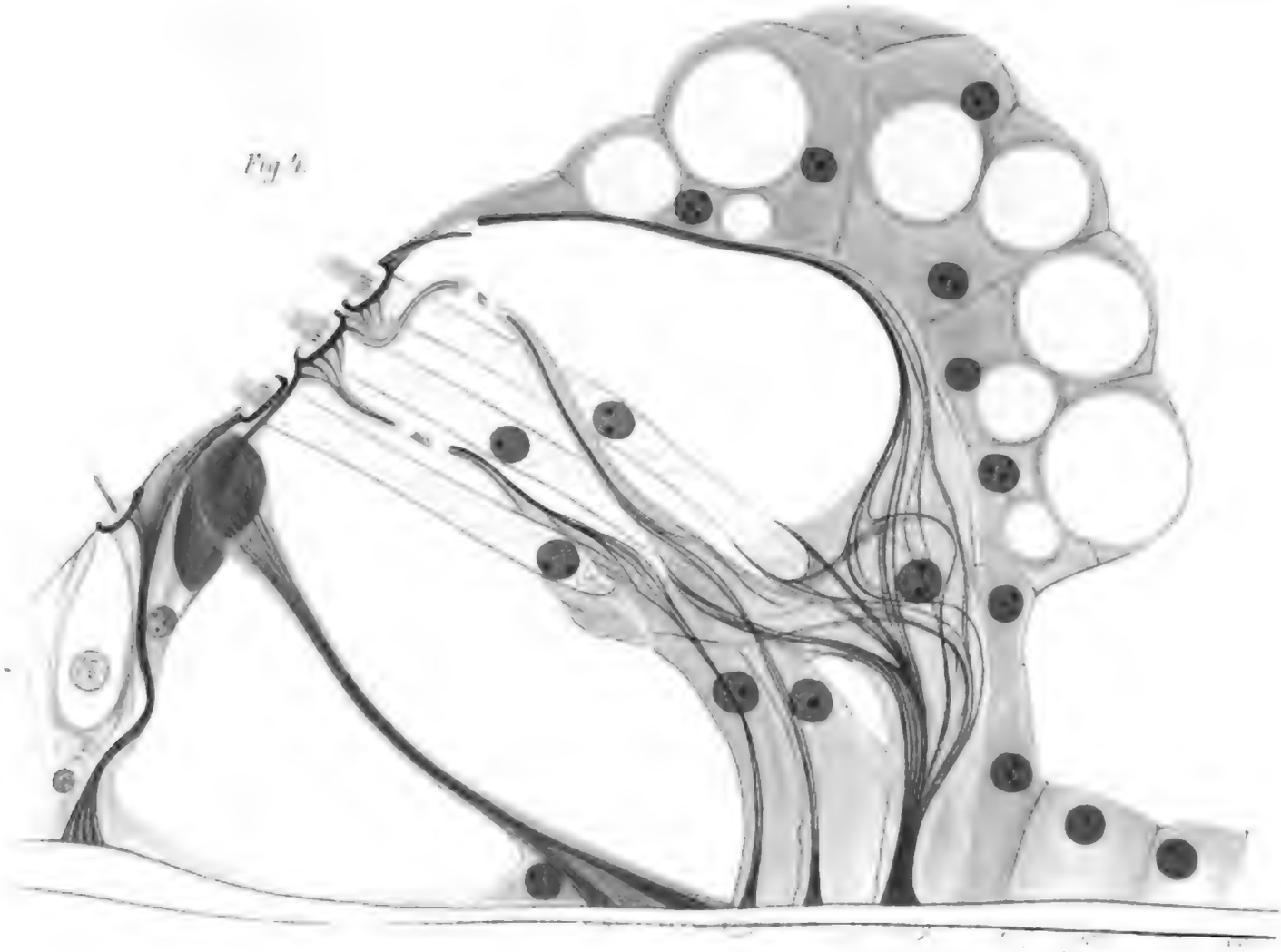
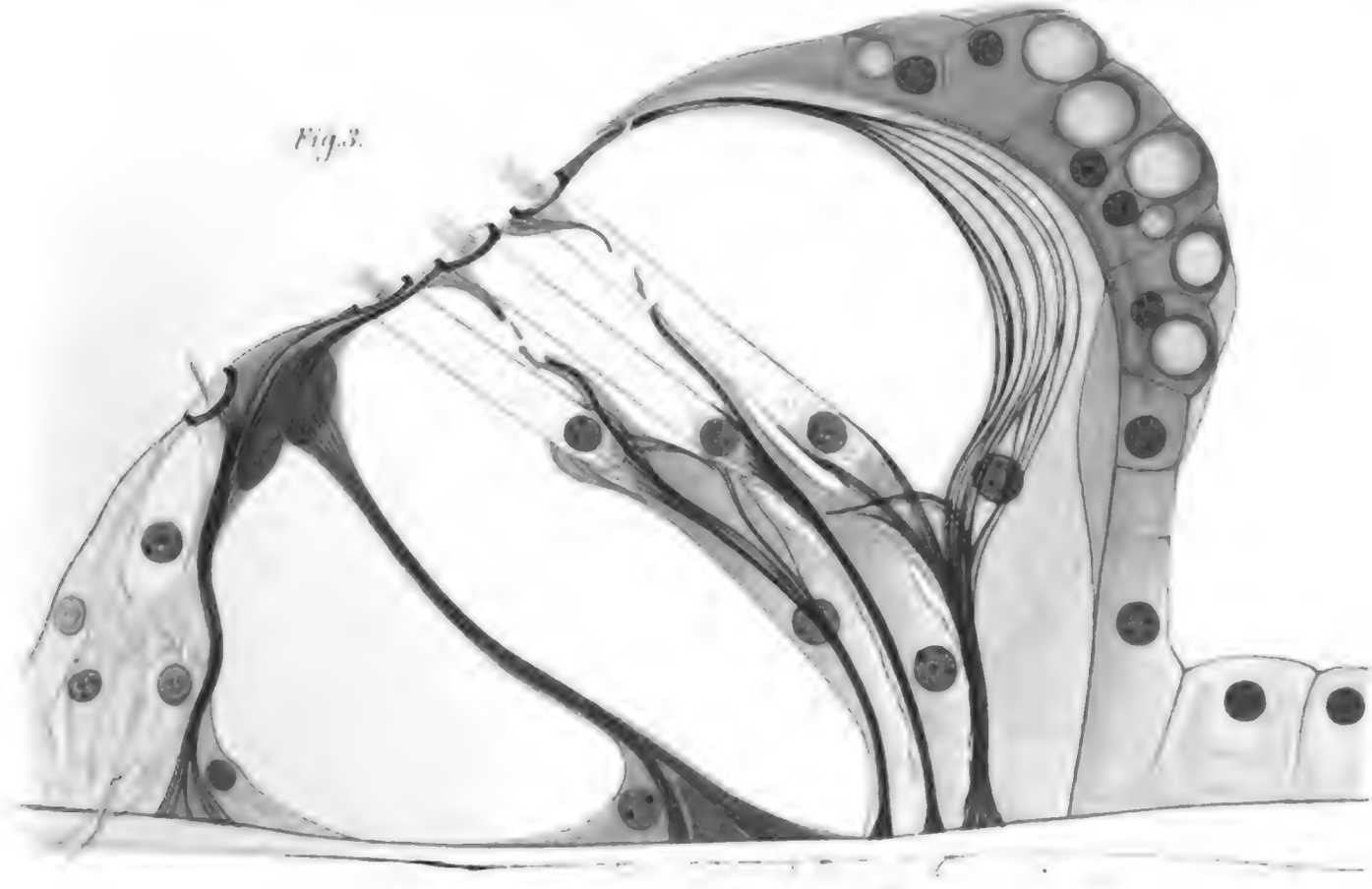


Fig. 3.



Digitized by Google

Fig. 5.

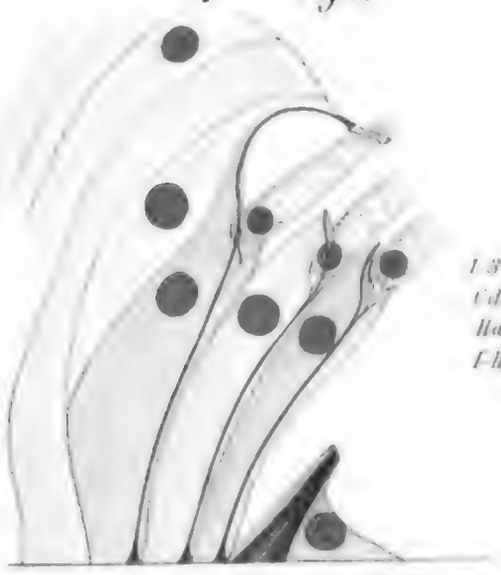
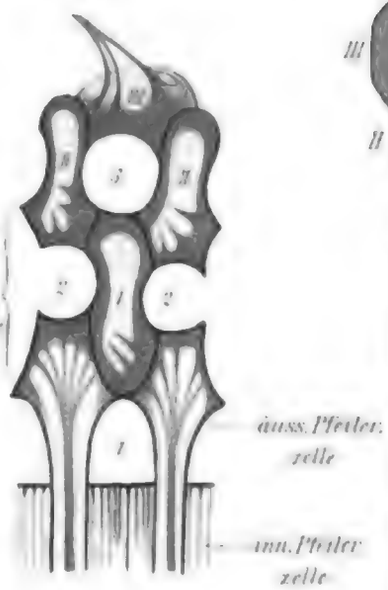


Fig. 6.



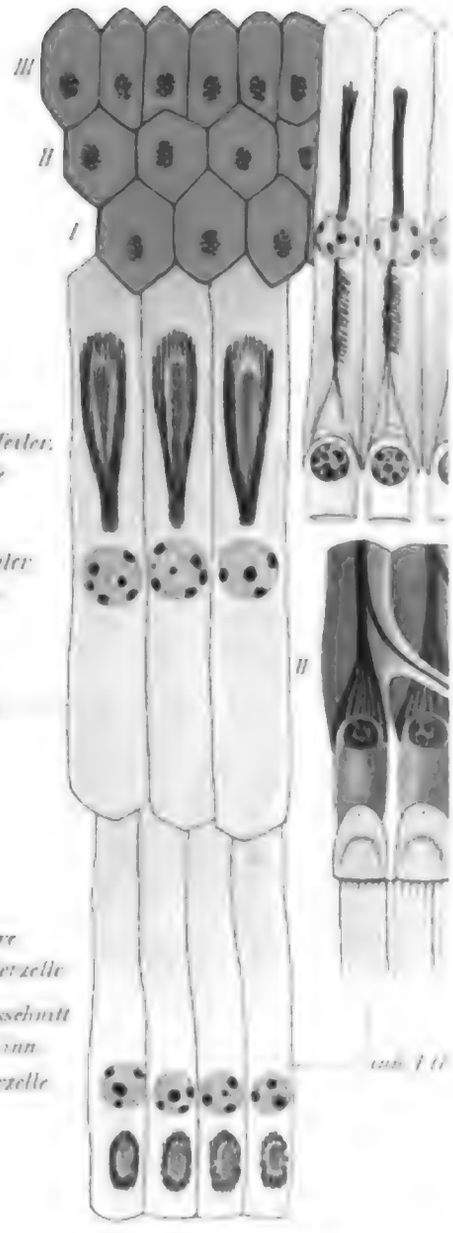


Fig. 8

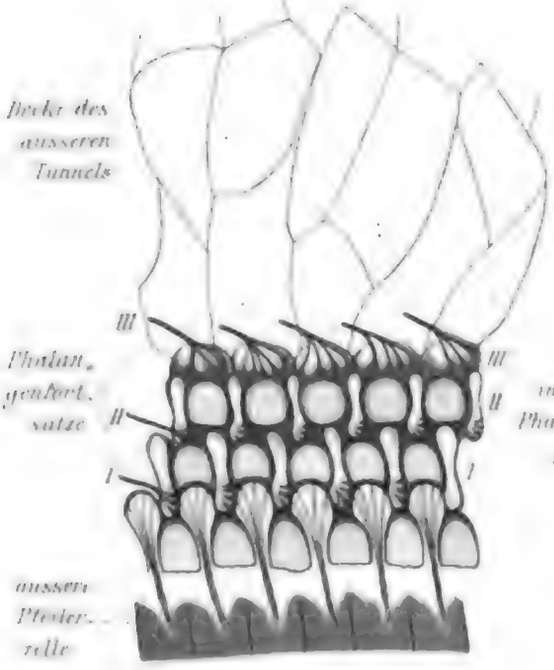


Fig. 9.

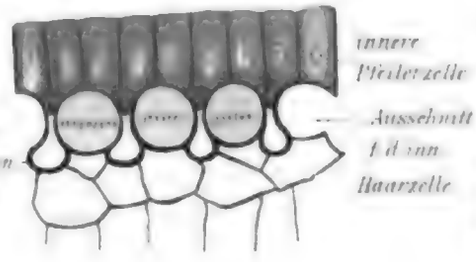


Fig. 10

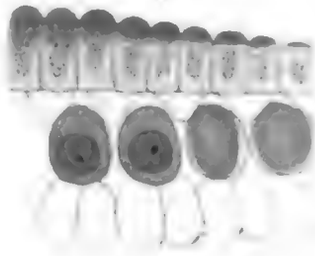
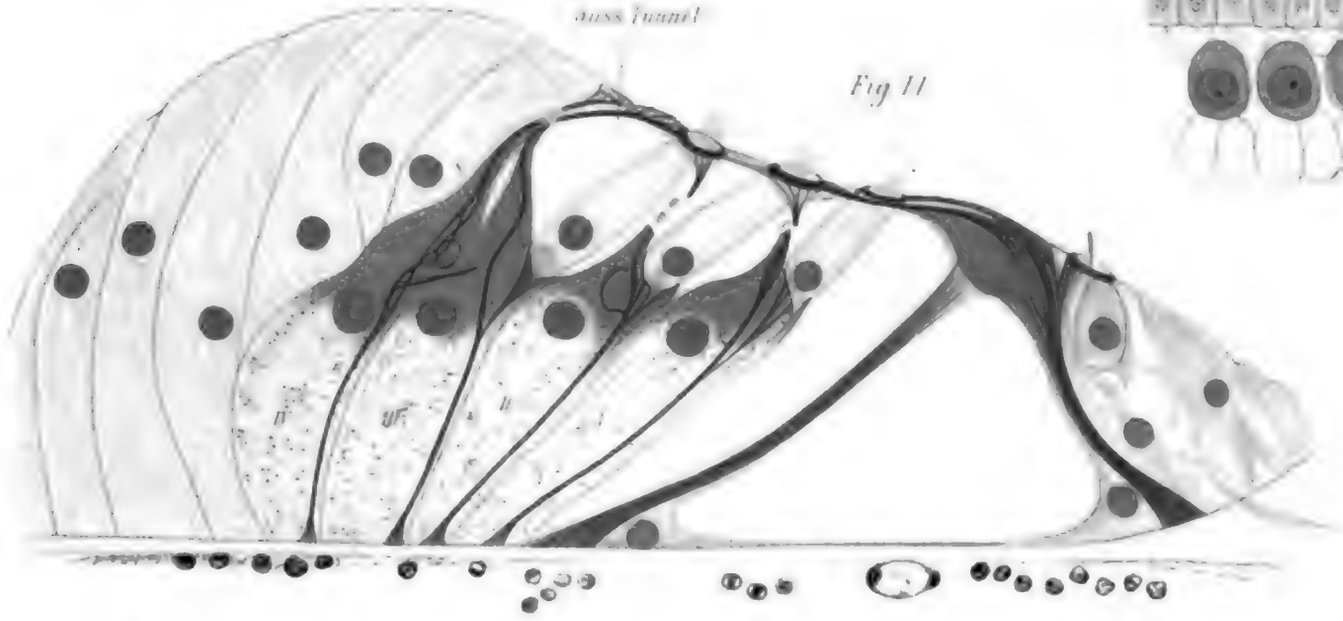


Fig. 11



Digitized by Google

Fig. 7.

III

III

II

Decke d. auss. Tunnels

III

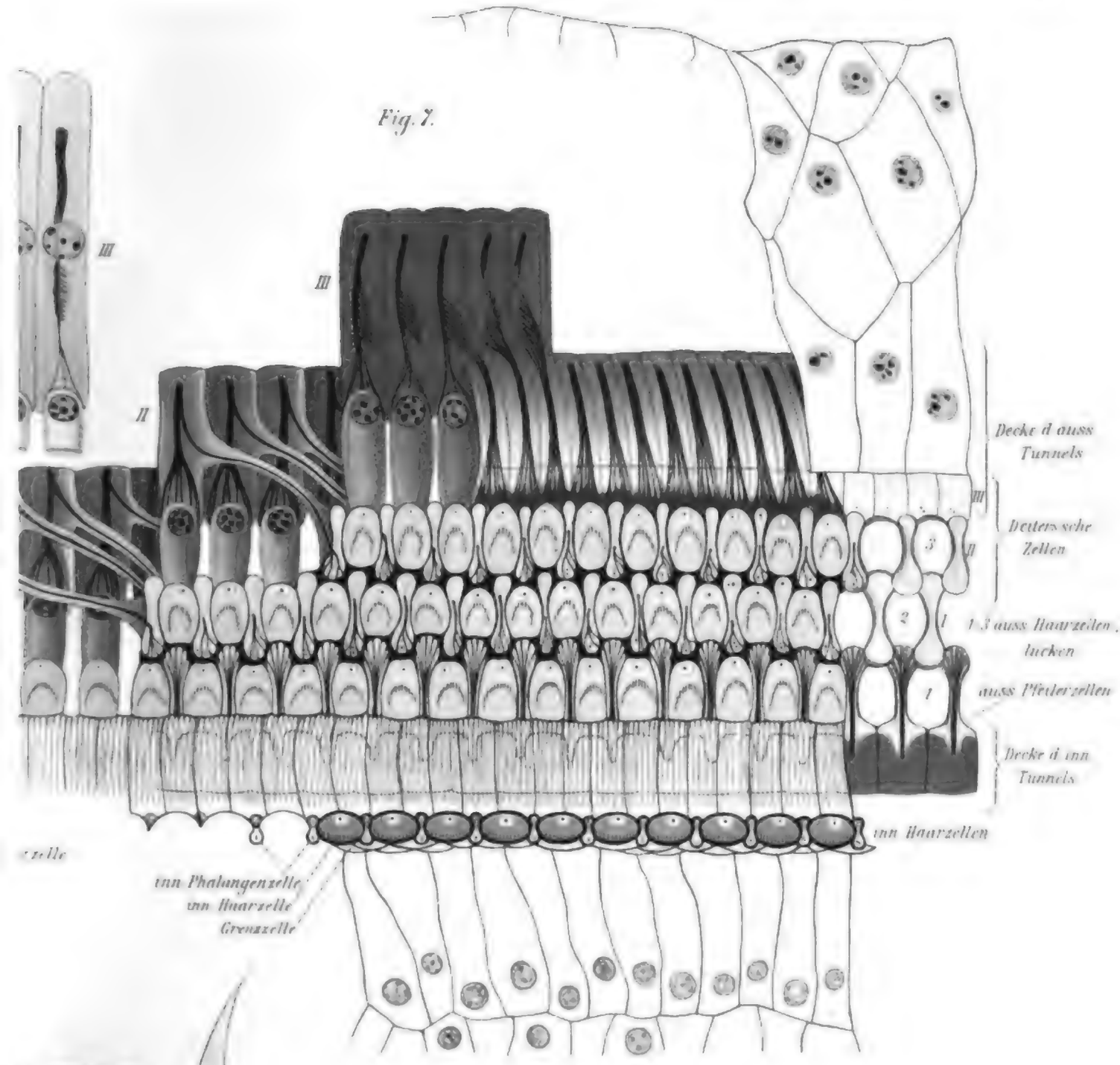
Deiters'sche Zellen

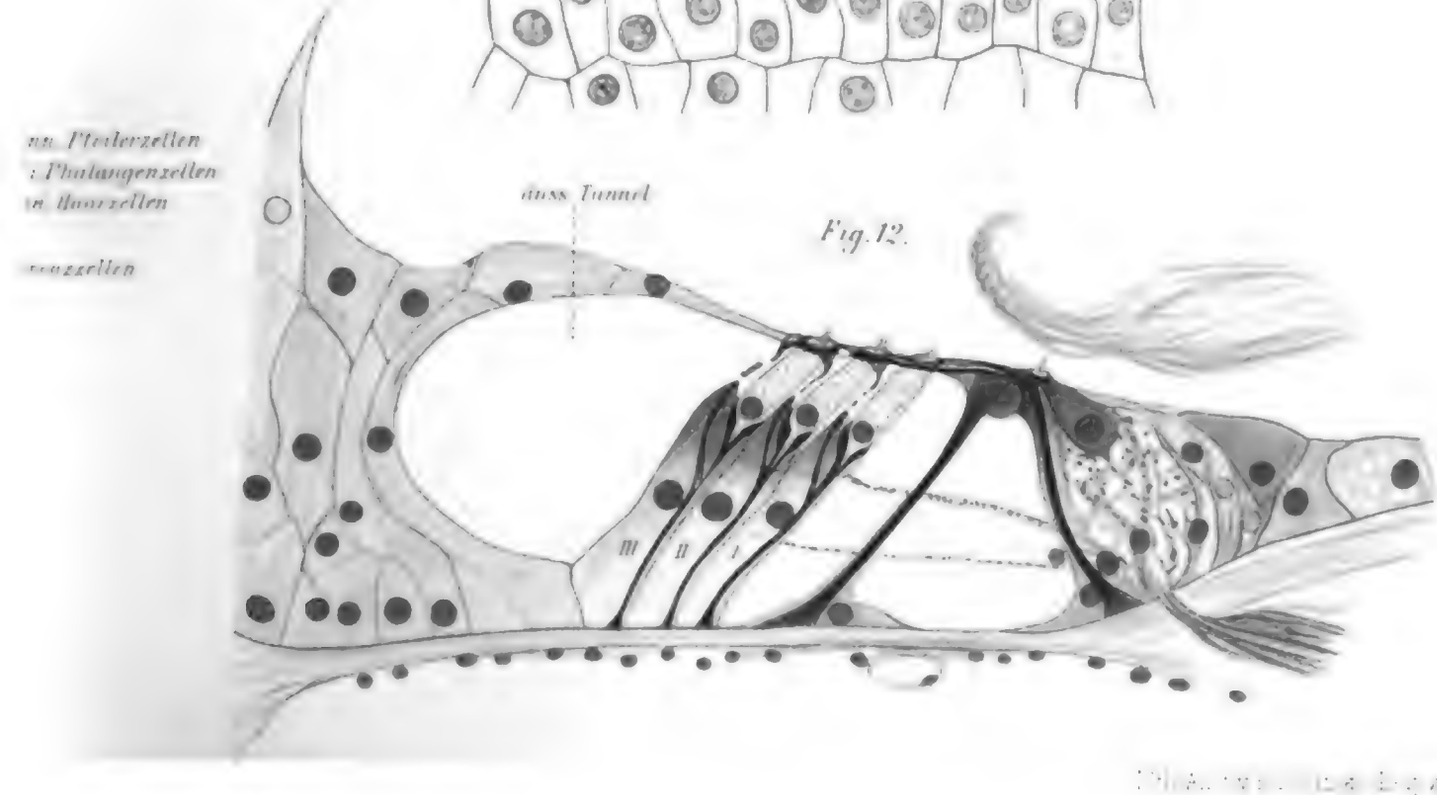
3

II

2

I





1-3 auss. Haarzellen, lücken

1

auss. Pfeilerzellen

Decke d. inn. Tunnels

inn. Haarzellen

inn. Phalangenzelle

inn. Haarzelle

Grenzzelle

Fig. 12.

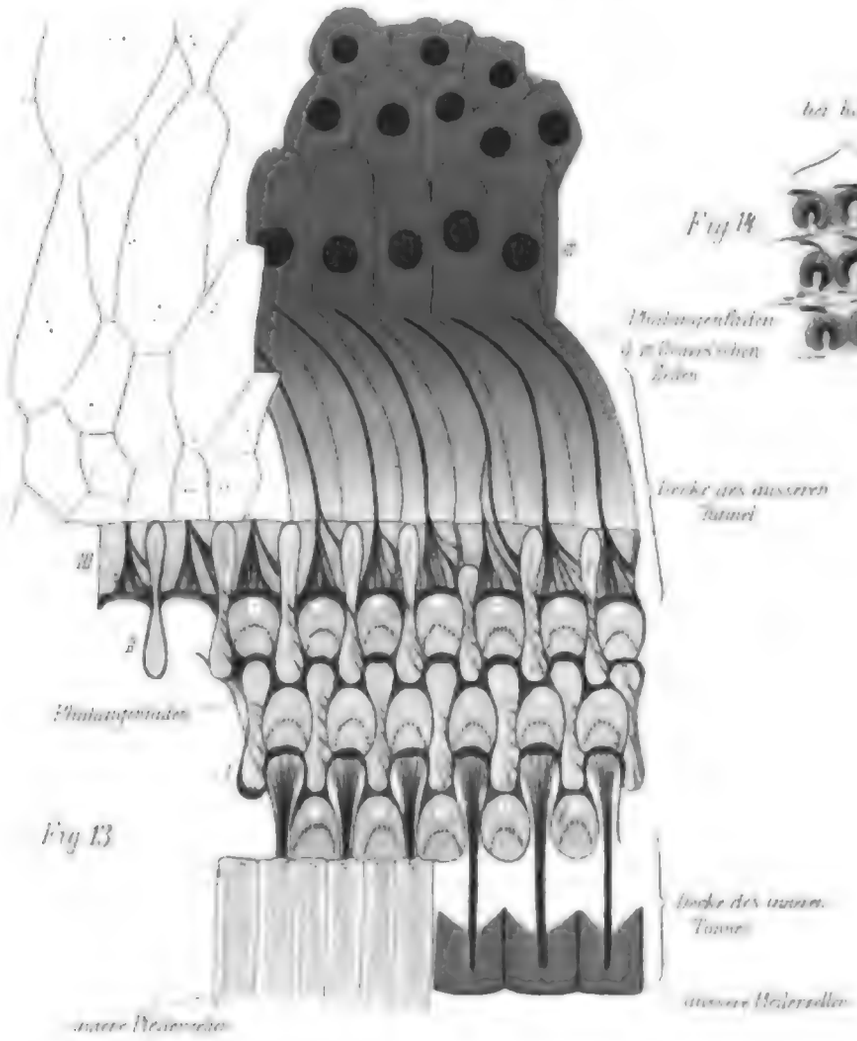
auss. Tunnel

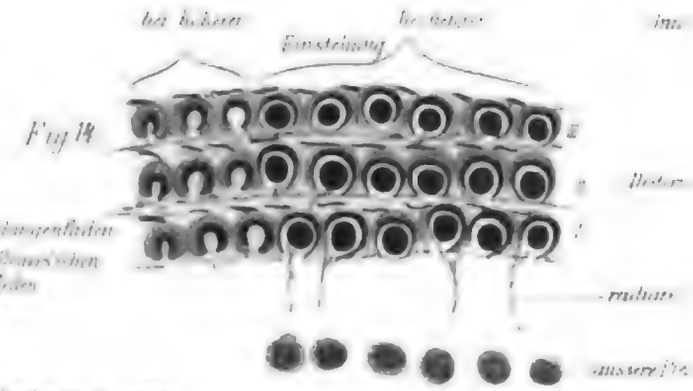
III

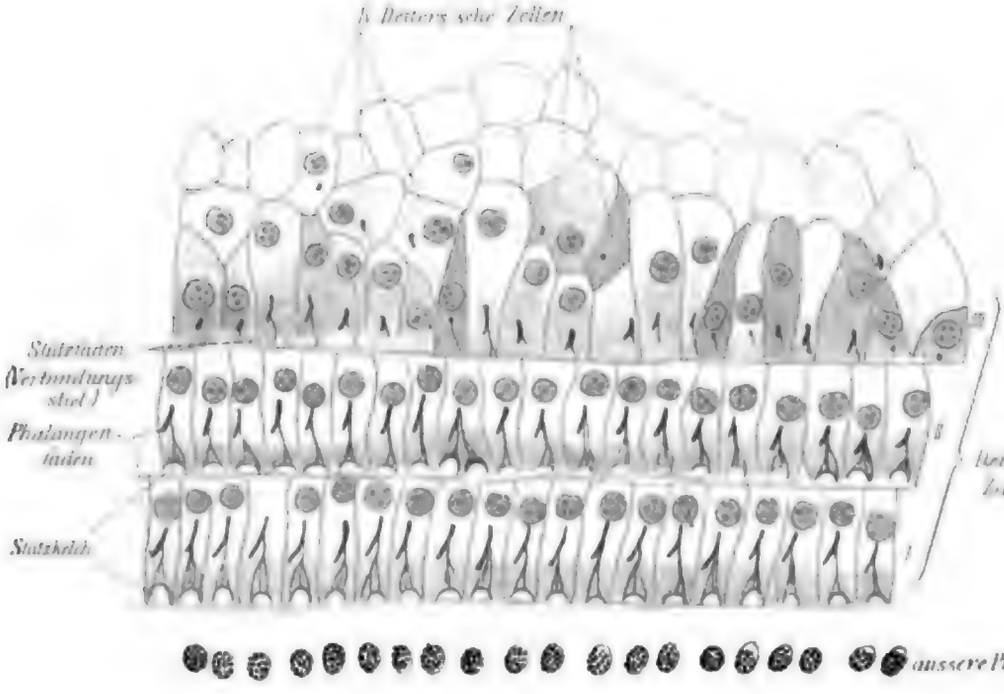
II

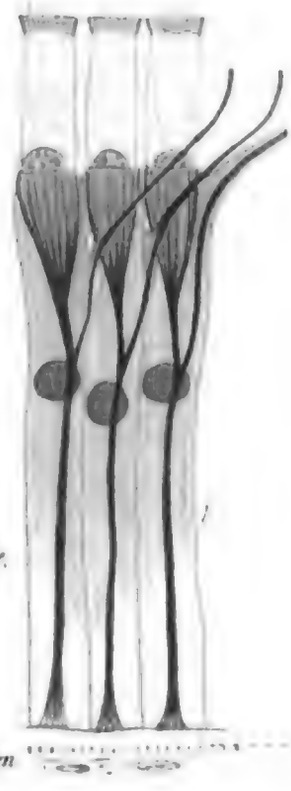
I

Digitized by Google









Digitized by Google

Fig 15.

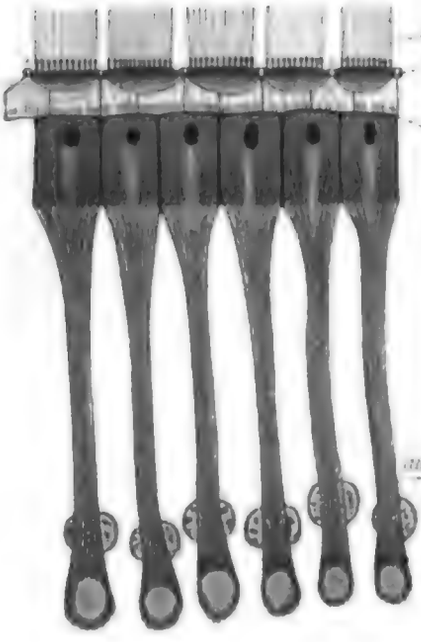


Fig 16.

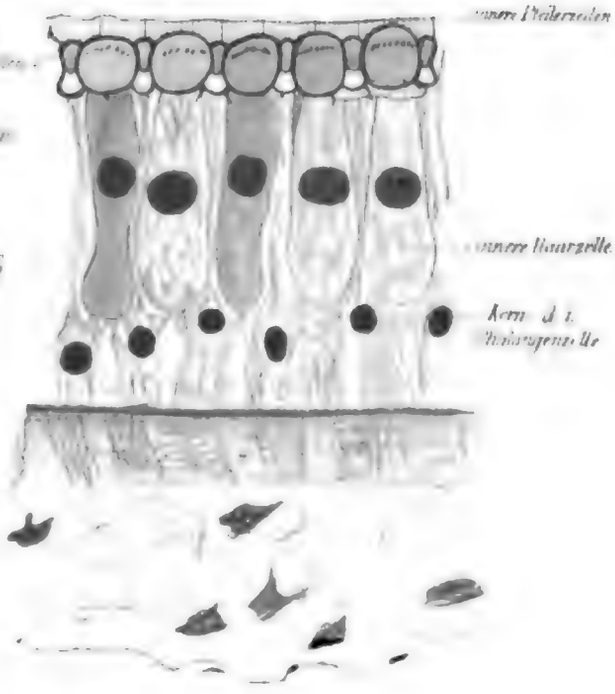


Fig 18.

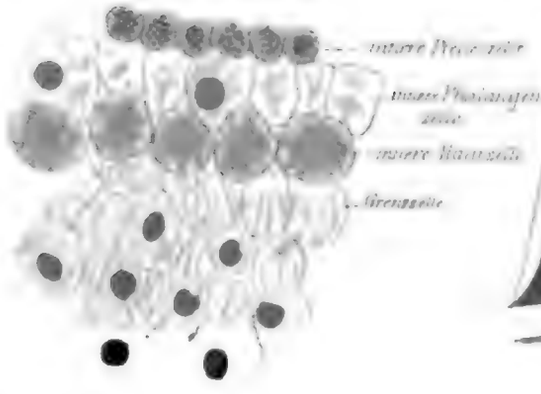


Fig 19.

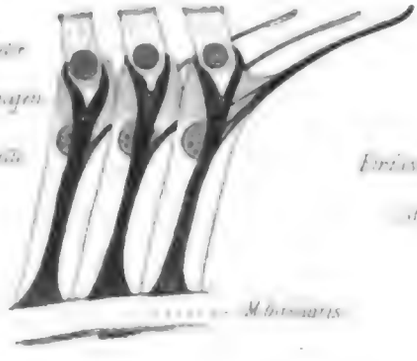


Fig 20.

Fig 23.

Fig 24.

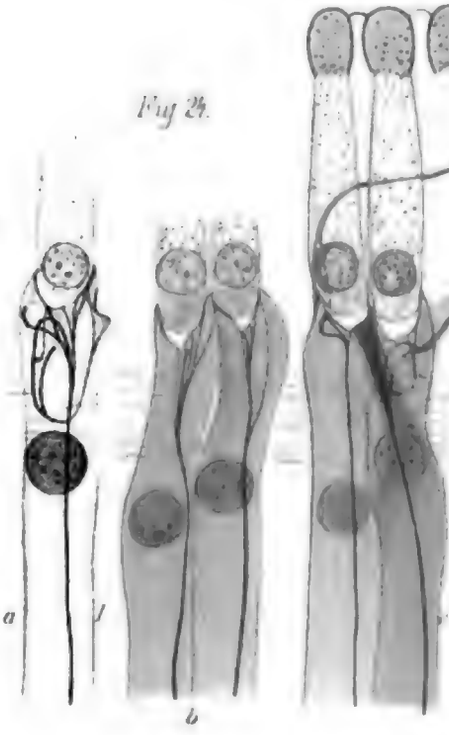


Fig 25.

Fig. 26.

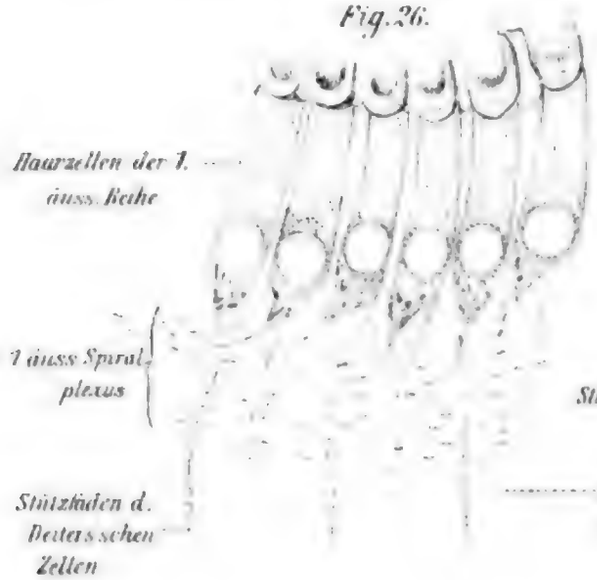


Fig. 27.

Fig. 28.

Fig. 29.

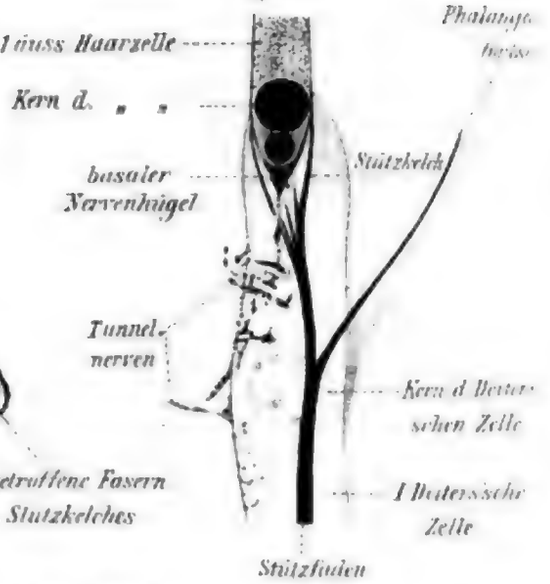


Fig. 33.

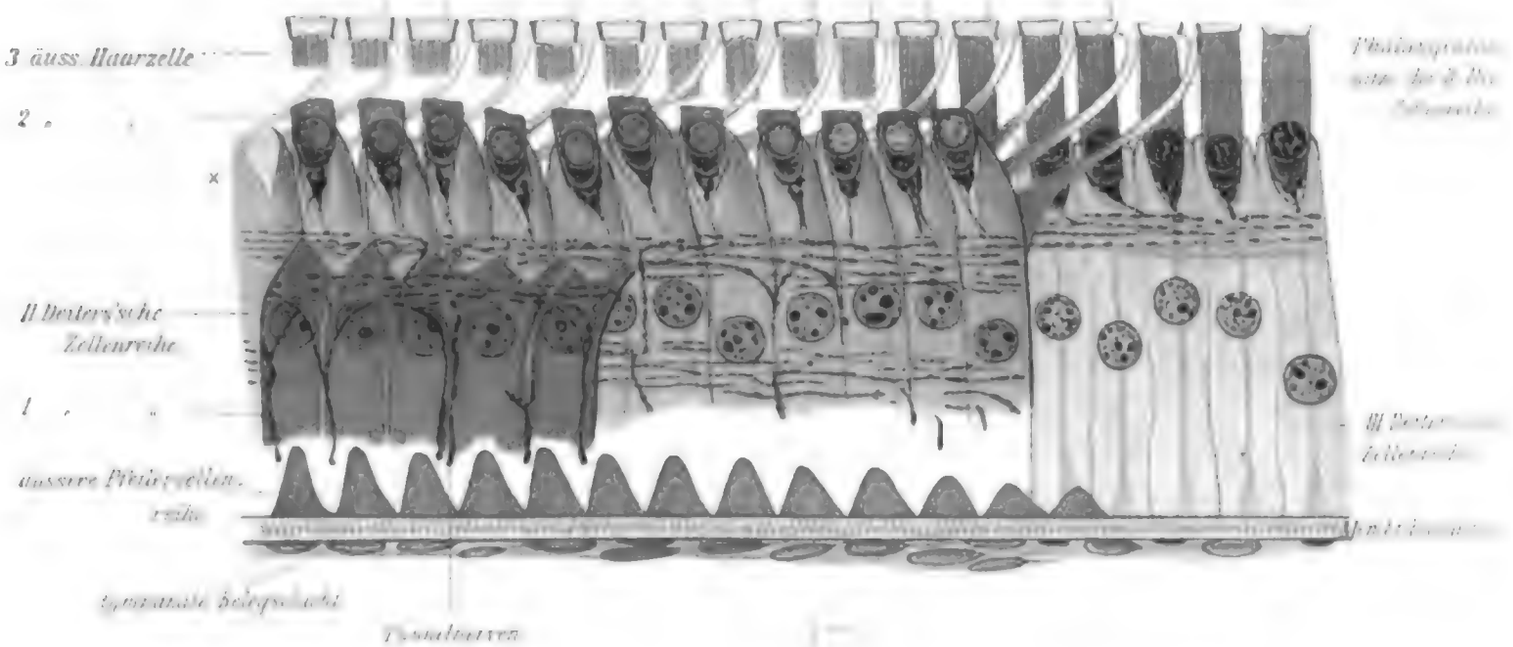
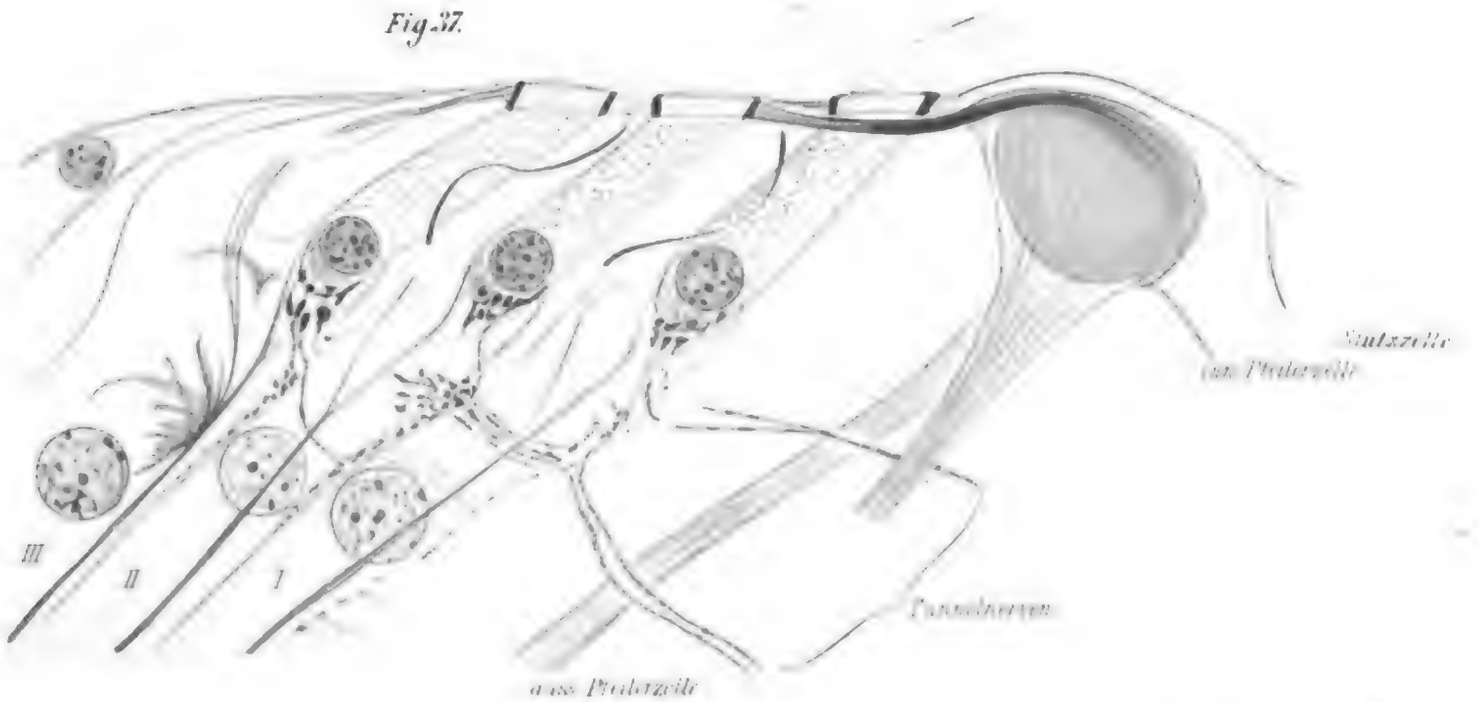


Fig. 37.



Digitized by Google

Fig.30.

Fig.31.

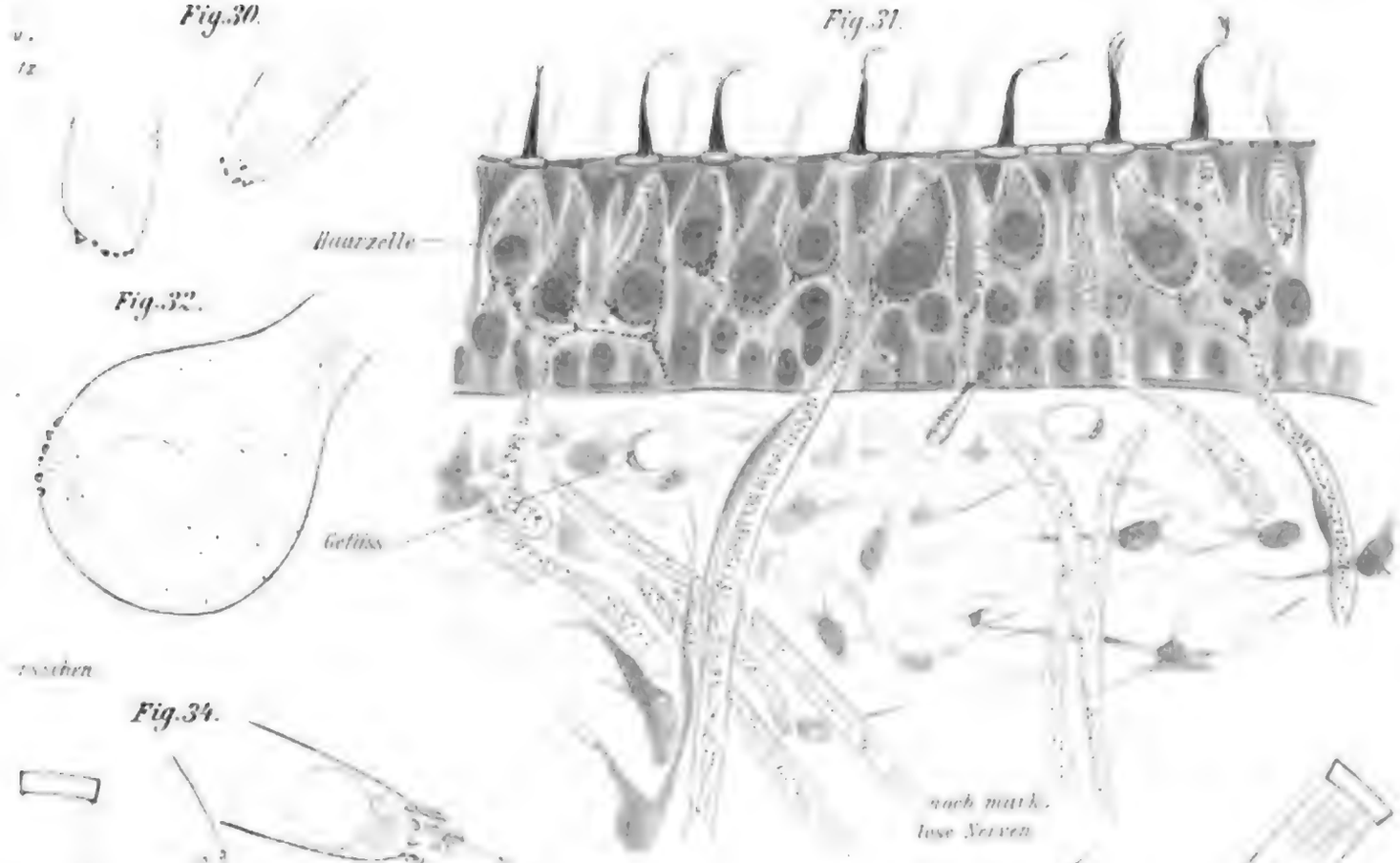


Fig.32.

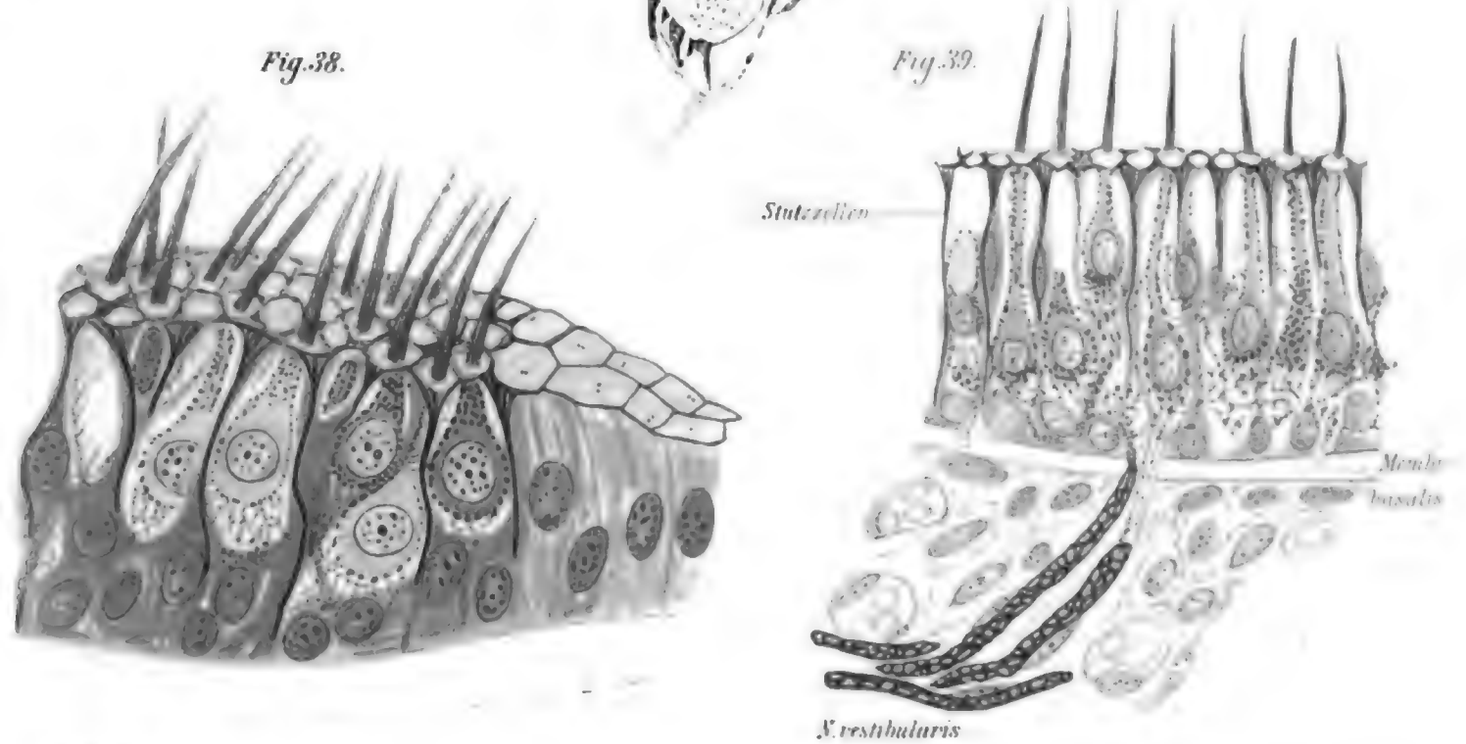
Fig.34.

Fig.35.

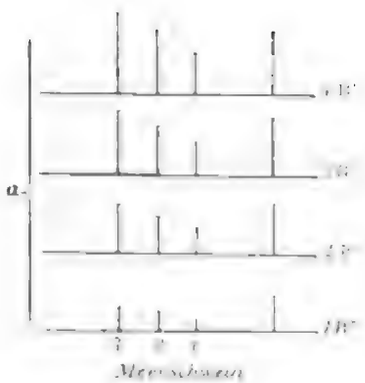
Fig.36.

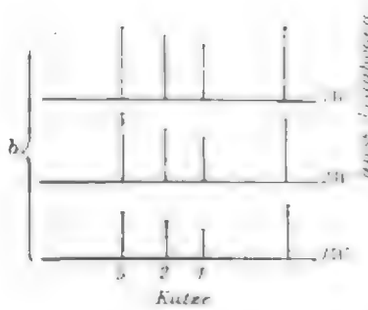
Fig.38.

Fig.39.



Digitized by Google





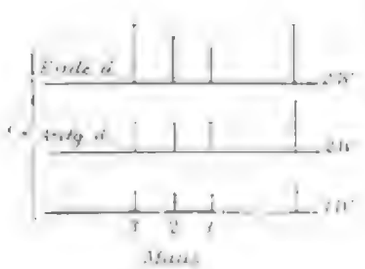
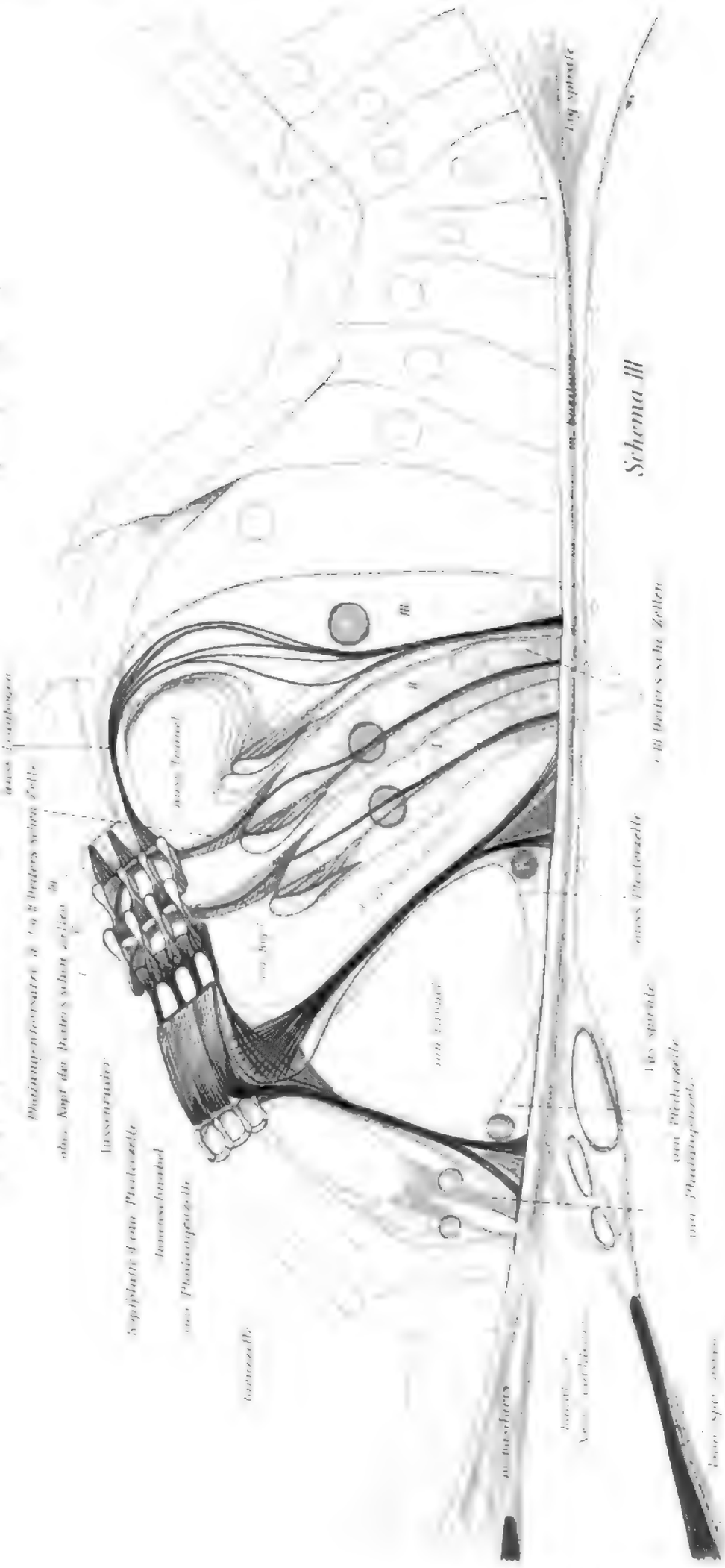


Fig 40



ÜBER DIE

MAXWELL-HERTZ'SCHE THEORIE.

DRITTE ABHANDLUNG.

VON

C. NEUMANN.

Des XXVIII. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe
der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° II.

MIT 3 TEXTFIGUREN.

LEIPZIG
BEI B. G. TEUBNER.
1903.

Digitized by Google

Vorgetragen für die Abhandlungen am 27. Oktober 1902.
Das Manuscript eingeliefert am 29. Oktober 1902.
Der letzte Bogen druckfertig erklärt am 4. December 1902.

ÜBER DIE
MAXWELL-HERTZ'SCHE THEORIE.

DRITTE ABHANDLUNG.

VON

C. NEUMANN.

Eine*) Metallkugel $\mathfrak{K}$ sei, inmitten eines isolirenden Mediums, an einem dünnen Seidenfaden aufgehängt; sodass also dieser Faden, in Folge des Gewichtes der Kugel, eine bestimmte Spannung besitzt. Man kann sich nun die Frage vorlegen, ob diese Spannung des Fadens vielleicht irgend welche Vermehrung erleiden wird, sobald man die Kugel $\mathfrak{K}$ *elektrisch ladet*. Oder mit anderen Worten: Man kann sich die Frage vorlegen, ob durch die elektrische Ladung der Kugel eine auf sie einwirkende ponderomotorische Kraft erzeugt werden kann, die zu der durch die Schwere hervorgebrachten Kraft sich hinzuaddirt.

Die Frage erscheint im ersten Augenblick sonderbar und thöricht. In der That unterliegt es keinem Zweifel, dass sie im Sinne der Poisson'schen Theorie glattweg zu verneinen ist, dass nämlich im Sinne dieser Theorie jene additive ponderomotorische Kraft stets $= 0$ sein wird.

Und auch im Sinne der Maxwell-Hertz'schen Theorie wird jene additive Kraft stets $= 0$ sein, falls das die Kugel $\mathfrak{K}$ umgebende isolirende Medium vollkommen homogen ist. Hingegen wird sich zeigen, *dass eine solche additive ponderomotorische Kraft, auf Grund der* Maxwell-Hertz*'schen Theorie, wirklich entstehen und recht ansehnliche Werthe besitzen kann, sobald das umgebende isolirende Medium ein Aggregat zweier verschiedener Medien ist, deren jedes mit der Kugel $\mathfrak{K}$ in Berührung ist.* Dabei werden wir in Betreff dieser isolirenden Medien stets voraussetzen, dass dieselben völlig *unelektrisch* sind; sodass weder im Innern eines solchen Mediums, noch auch auf denjenigen Flächen, in welchen zwei solche Medien

*) Der vorliegende Aufsatz (Abh. III) repräsentirt eine Fortsetzung meiner früheren beiden Aufsätze (Abh. I und Abh. II), die beide erschienen sind im XXVII. Bd. d. Abh. der math.-phys. Classe d. K. Sächs. Ges. d. Wiss., respective in den Jahren 1901 und 1902. — *C. N.*

Digitized by Google

aneinandergrenzen, irgend welche Spur von *wahrer* Elektricität vorhanden ist.

(I.) Wir werden also, was die zu betrachtenden isolirenden Medien anbelangt, voraussetzen, dass σ im Innern eines solchen Mediums überall $= 0$ ist, und ferner, dass S an der Grenze zweier solcher Medien ebenfalls überall $= 0$ sei.*)

Da die bei diesen Untersuchungen zu überwindenden mathematischen Schwierigkeiten im Allgemeinen recht erheblicher Art sind, so werden wir, schon aus diesem Grunde, gut thun, einen möglichst einfachen Fall herauszugreifen. Demgemäss wollen wir annehmen, der Aussenraum der gegebenen Kugel $\mathfrak{K}$ sei im Ganzen nur von *zwei* isolirenden Medien $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ erfüllt; jedes derselben sei homogen; und sie mögen aneinandergrenzen in einer durch das Centrum der Kugel $\mathfrak{K}$ gehenden Horizontalebene; dabei mag $\mathfrak{L}$ *unter* dieser Ebene und $\mathfrak{L}'$ *über* derselben sich befinden.

Wir werden finden, dass in diesem Fall jene additive ponderomotorische Kraft proportional mit $(\varepsilon - \varepsilon')$ ist, wo ε und ε' die Dielektricitätscoefficienten der beiden Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ vorstellen.

Die Stärke jener additiven ponderomotorischen Kraft kann unter Umständen eine recht beträchtliche sein. Sind z. B. die Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ respective durch *Amethylalkohol* und *Luft* dargestellt, so ist**): $\varepsilon = 32{,}7$ und $\varepsilon' = 1$, mithin die Differenz $\varepsilon - \varepsilon' = 31{,}7$. Will man in diesem speciellen Falle von der Stärke jener additiven ponderomotorischen Kraft eine ungefähre Vorstellung haben, so ist zuvörderst zu bemerken, dass die der Kugel $\mathfrak{K}$ von Hause aus zuertheilte elektrische Ladung auf ihrer Oberfläche sich *gleichförmig* ausbreiten wird. Man denke sich nun, ausser dieser Kugel $\mathfrak{K}$, noch eine zweite Kugel $\mathfrak{J}$ von *derselben* Grösse und mit *derselben* gleichförmigen elektrischen Oberflächenbelegung. Alsdann wird jene additive ponderomotorische Kraft

---

*) Es ist daran zu erinnern, dass wir (nach dem Vorgange von HELMHOLTZ) die *wahren* elektrischen Dichtigkeiten mit σ, S, andrerseits aber die *freien* elektrischen Dichtigkeiten mit $(\sigma), (S)$ bezeichnen; und zwar der Art, dass $\sigma, (\sigma)$ die räumlichen Dichtigkeiten vorstellen, während S, (S) die sogenannten Flächendichtigkeiten sein sollen.

**) Vgl. DRUDE: Physik des Aethers, 1894, Seite 265.

Digitized by Google

fast 16mal so gross sein, als diejenige Abstossungskraft, mit welcher die wirkliche Kugel $\mathfrak{K}$ und jene nur ideale Kugel $\mathfrak{J}$, im Falle ihrer gegenseitigen Berührung, auf einander einwirken würden. Oder mit andern Worten: Jene additive ponderomotorische Kraft wird nahezu

$$= 16\frac{(E)(E)}{4a^2}$$

sein, wo (E) die elektrische Ladung der Kugel $\mathfrak{K}$ und a ihren Radius bezeichnen.

§ 43.

Genauere Formulirung der hier zu behandelnden Aufgabe.

Die vom Centrum der Kugel $\mathfrak{K}$ nach unten gehende Verticale mag als x-Axe dienen; ferner mag jene durch das Centrum gehende Horizontalebene, in welcher die beiden die Kugel umgebenden Medien $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ an einander grenzen, zur yz-Ebene genommen werden. Auch mag für jedweden Punct (x, y, z) der Centralabstand mit ϱ bezeichnet werden; sodass also die Formel stattfindet:

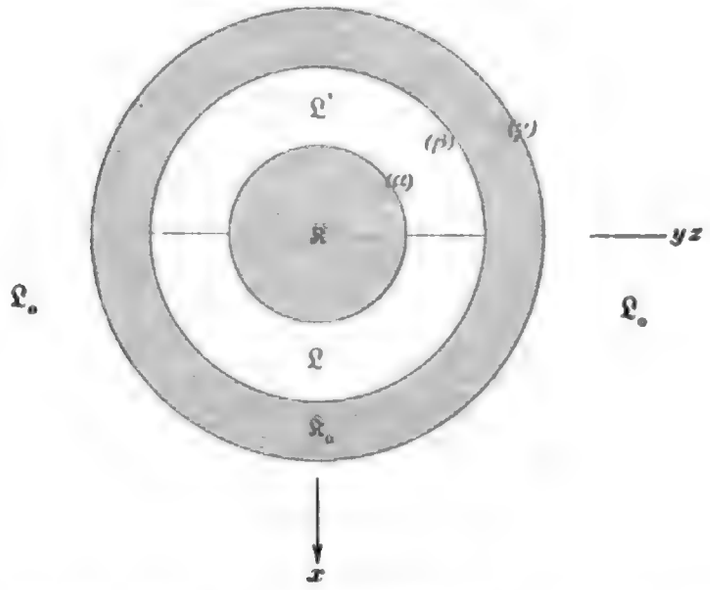
$$\varrho^2 = x^2 + y^2 + z^2. \tag{2.}$$

Wollten wir nun jene beiden unter- und oberhalb der yz-Ebene befindlichen isolirenden Medien $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ den *ganzen Aussenraum* der Kugel $\mathfrak{K}$ erfüllen, also nach allen Seiten ins Unendliche sich erstrecken lassen; — so würde dies einen doppelten Uebelstand hervorbringen. Erstens nämlich wäre ein dementsprechendes Experiment nicht anstellbar. Zweitens aber würde auch unsere allgemeine Theorie auf einen solchen Fall nicht gut anwendbar sein; denn bei der Begründung dieser Theorie ist von uns [vergl. Abh. I Seite 258 (III.)] express vorausgesetzt worden, dass die zu untersuchenden Körper oder Substanzen von *homogener Luft* umgeben seien, und dass diese umgebende homogene Luft nach allen Seiten hin sich ins Unendliche erstrecke.

Wir wollen nun die hier zu behandelnde Aufgabe mit jenen Anforderungen der allgemeinen Theorie in Einklang zu bringen suchen. Zu diesem Zweck denken wir uns die zu untersuchenden Substanzen $\mathfrak{K}$, $\mathfrak{L}$, $\mathfrak{L}'$ eingeschlossen in eine *metallische Kugelschaale* $\mathfrak{K}_0$, die begrenzt ist von zwei zur Kugel $\mathfrak{K}$ concentrischen Kugelflächen. Endlich denken wir uns diese Schaale $\mathfrak{K}_0$ umgeben von einer

Digitized by Google

homogenen Luft $\mathfrak{L}_0$, die nach allen Seiten sich ins Unendliche erstreckt; sodass wir also folgendes Bild vor uns haben:



Die Radien der drei concentrischen Kugelflächen mögen mit α, β, γ bezeichnet sein; und zwar sei:

(3.) $$\alpha < \beta < \gamma;$$

sodass also α den Radius der Kugel $\mathfrak{K}$ vorstellt, während β und γ die Radien der beiden die Schaale $\mathfrak{K}_0$ begrenzenden Kugelflächen bezeichnen.

Die Metallkugel $\mathfrak{K}$ und die metallische Schaale $\mathfrak{K}_0$ seien nun von Hause aus mit irgend welchen Elektricitätsmengen geladen. Alsdann entstehen in den gegebenen Substanzen $\mathfrak{K}$, $\mathfrak{K}_0$, $\mathfrak{L}$, $\mathfrak{L}'$, $\mathfrak{L}_0$ bestimmte Vertheilungen von *wahrer* und von *freier* Elektricität. Mit andern Worten: Es entstehen alsdann in jenen Substanzen bestimmte elektrische Dichtigkeiten:

(4.) $$\sigma,\ S \quad \text{und} \quad (\sigma),\ (S);$$

vgl. die Note auf Seite 78. Dabei mag das Potential aller überhaupt vorhandenen *freien* Elektricität in Bezug auf irgend einen Punct (x, y, z) bezeichnet werden mit:

(5.) $$\varphi = \varphi(x, y, z).$$

Auch entstehen in jedwedem Puncte (x, y, z) bestimmte elektrische Zustandscomponenten $\mathfrak{X}$, $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{Z}$, die zu jenem Potential φ in folgender einfacher Beziehung stehen [vgl. Abh. I, Seite 312 (3.)]:

(6.) $$\mathfrak{X} = -\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial x}, \quad \mathfrak{Y} = -\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial y}, \quad \mathfrak{Z} = -\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial z},$$

Digitized by Google

wo ε den Werth des Dielektricitätscoefficienten im Puncte (x, y, z) vorstellt.

Endlich entstehen, in Folge des elektrischen Zustandes, bestimmte ponderomotorische Kräfte

(7.) $$\Xi,\ \mathsf{H},\ \mathsf{Z}.$$

Und es handelt sich nun darum, all' diese unbekannten Grössen (4.), (5.), (6.), (7.) *näher zu untersuchen, und womöglich wirklich zu berechnen. Selbstverständlich handelt es sich dabei immer nur um diejenigen Werthe, welche diese Grössen besitzen werden nach Eintritt des elektrischen Gleichgewichtszustandes.*

Zur Zeit dieses Zustandes wird aber bekanntlich alle in den metallischen Körpern $\mathfrak{K}$ und $\mathfrak{K}_0$ enthaltene *wahre* Elektricität an ihren *Oberflächen* abgelagert sein [Abh. I, Seite 275]; sodass also σ in der Kugel $\mathfrak{K}$ und in der Schaale $\mathfrak{K}_0$ überall $= 0$ sein wird, während das S an den Oberflächen von $\mathfrak{K}$ und $\mathfrak{K}_0$ bestimmte aber noch unbekannte Werthe besitzt.

Nehmen wir hinzu, was in (1.) Seite 78 über die isolirenden Medien, also z. B. über $\mathfrak{L}$, $\mathfrak{L}'$ und $\mathfrak{L}_0$, vorausgesetzt wurde, so sehen wir, dass auch in diesen die Dichtigkeit σ überall $= 0$ ist. Diese Dichtigkeit σ wird also im ganzen unendlichen Raum *allenthalben* $= 0$ sein. Und, zufolge des allgemeinen Satzes $(\sigma) = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ [Abh. I, Seite 269 (4.)], wird daher Gleiches auch gelten von der Dichtigkeit (σ). Also

(8.) σ und (σ) sind allenthalben $= 0$.

D. h.: *Sowohl wahre, wie auch freie Elektricität können nur allein an den Grenzflächen sich vorfinden. Und es handelt sich also nur noch um die auf diesen Grenzflächen vorhandenen Dichtigkeiten S und (S).*

Zwischen den Dichtigkeiten S, (S) und dem Potential φ finden bekanntlich [vgl. z. B. die Abh. I, Seite 279 und Seite 314] folgende Beziehungen statt:

(9.) $$-4\pi S = \varepsilon_1 \frac{\partial \varphi}{\partial n_1} + \varepsilon_2 \frac{\partial \varphi}{\partial n_2},$$

(10.) $$-4\pi (S) = \frac{\partial \varphi}{\partial n_1} + \frac{\partial \varphi}{\partial n_2}.$$

Diese Formeln gelten ganz allgemein für jedwede Grenzfläche, nämlich für die Werthe von S und (S) in irgend einem Punct einer solchen Fläche; dabei bezeichnen n_1 und n_2 die in diesem Punct auf beiden Seiten der Fläche errichteten Normalen, und ε_1 und ε_2 die betreffenden Dielektricitätscoefficienten.

Digitized by Google

Noch sei, als besonders wichtig, hervorgehoben, dass

(11.) $S = 0$ ist auf der Grenzfläche $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$;

vgl. (1.) Seite 78. Bildet man also die Gleichung (9.) für diese Fläche $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$, so erhält man eine Formel von folgender Gestalt:

(12.) $0 = \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial n} + \varepsilon' \frac{\partial \varphi}{\partial n'}$, auf der Grenzfläche $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$.

Hier bezeichnen aldann n und n' die auf dieser Fläche (d. i. auf der yz-Ebene) nach Unten und nach Oben errichteten Normalen; während ε und ε' die Dielektricitätscoefficienten der Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ vorstellen.

§ 44.

Berechnung des von der freien Elektricität herrührenden Potentials φ.

Nach einem allgemeinen Satz [Abh. I, Seite 275] sind die $\mathfrak{X}$, $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{Z}$, nach Eintritt des elektrischen Gleichgewichtszustandes, in der Metallkugel $\mathfrak{K}$, und ebenso auch in der metallischen Schaale $\mathfrak{K}_0$ überall $= 0$. Und hieraus ergiebt sich mit Hinblick auf (6.), dass das Potential φ zur Zeit des genannten Zustandes in der Metallkugel $\mathfrak{K}$ constant, etwa $= K$, und in der metallischen Schaale $\mathfrak{K}_0$ ebenfalls constant, etwa $= K_0$ sein wird; sodass wir also folgende Formeln haben:

(13.) $\varphi = K$, in der Metallkugel $\mathfrak{K}$,

(14.) $\varphi = K_0$, in der metallischen Schaale $\mathfrak{K}_0$.

Zu diesen Formeln (13.), (14.) fügen wir hinzu die Formel (12.):

(15.) $\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial n} + \varepsilon' \frac{\partial \varphi}{\partial n'} = 0$, auf der Fläche $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$.

φ ist das Potential aller überhaupt vorhandenen *freien* Elektricitäten (σ) und (S). Nun sind aber die (σ), nach (8.), überall $= 0$. *Folglich rührt das Potential φ nur allein her von den auf den einzelnen Grenzflächen vorhandenen Dichtigkeiten (S).*

*Diese Dichtigkeiten (S) sind einstweilen noch völlig unbekannt. Trotzdem aber wird, wie man leicht erkennt, das von ihnen herrührende Potential φ durch die Formeln (13.), (14.), (15.) für alle Puncte des ganzen unendlichen Raumes eindeutig bestimmt sein, falls man nur die in jenen Formeln enthaltenen Constanten K und K_0 einstweilen als bekannt voraussetzt.**)

*) Vgl. die nachträgliche Bemerkung auf Seite 99.

Digitized by Google

Beweis. — Der ganze unendliche Raum besteht aus den vier Theilen: $\mathfrak{R}$, $(\mathfrak{L}+\mathfrak{L}')$, $\mathfrak{S}$ und $\mathfrak{L}_0$, [vgl. die Figur Seite 80]. In $\mathfrak{R}$ und $\mathfrak{R}_0$ sind die Werthe von φ direct gegeben durch die Formeln (13.) und (14.); sodass also der Beweis der eindeutigen Bestimmung von φ nur noch zu liefern ist für die beiden Raumtheile $(\mathfrak{L}+\mathfrak{L}')$ und $\mathfrak{L}_0$.

Erstens: Betrachtung des Raumes $(\mathfrak{L}+\mathfrak{L}')$. — Könnte das Potential φ in diesem Raum $(\mathfrak{L}+\mathfrak{L}')$ *zweierlei* Werthe annehmen, und bezeichnet man die Differenz dieser beiderlei Werthe mit Φ, so würden sich aus (13.), (14.), (15.) für dieses Φ folgende Bestimmungen ergeben:

(A.) $\Phi = 0$, auf der *innern* Oberfläche von $(\mathfrak{L}+\mathfrak{L}')$,

(B.) $\Phi = 0$, auf der *äussern* Oberfläche von $(\mathfrak{L}+\mathfrak{L}')$,

(C.) $\varepsilon\frac{\partial\Phi}{\partial n}+\varepsilon'\frac{\partial\Phi}{\partial n'}=0$, auf der Fläche $(\mathfrak{L},\mathfrak{L}')$.

Nach einem bekannten Satze der Potentialtheorie ist nun offenbar:

(D.) $$\int_{\mathfrak{L}}\Box\Phi\cdot D\mathfrak{v}=-\int_{\mathfrak{L}}\Phi\frac{\partial\Phi}{\partial n}Do,$$

die Integrationen links und rechts ausgedehnt gedacht über alle Volumelemente $D\mathfrak{v}$ und über alle Oberflächenelemente Do des Raumes $\mathfrak{L}$. Ebenso ergiebt sich für den Raum $\mathfrak{L}'$:

(E.) $$\int_{\mathfrak{L}'}\Box\Phi\cdot D\mathfrak{v}=-\int_{\mathfrak{L}'}\Phi\frac{\partial\Phi}{\partial n'}Do.$$

Dabei sind in (D.) und (E.) unter n und n' die in den Raum $\mathfrak{L}$, respective in den Raum $\mathfrak{L}'$ hineinlaufenden Normalen der betreffenden Oberflächenelemente Do zu verstehen. Uebrigens werden, was diese Integrale rechter Hand in (D.) und (E.) anbelangt, diejenigen Theile derselben verschwinden, in denen das Φ nach (A.) und (B.) den Werth Null hat. Demgemäss reduciren sich die Formeln (D.) und (E.) auf folgende Gleichungen:

(F.) $$\int_{\mathfrak{L}}\Box\Phi\cdot D\mathfrak{v}=-\int_{(\mathfrak{L},\mathfrak{L}')}\Phi\frac{\partial\Phi}{\partial n}Do,$$

(G.) $$\int_{\mathfrak{L}'}\Box\Phi\cdot D\mathfrak{v}=-\int_{(\mathfrak{L},\mathfrak{L}')}\Phi\frac{\partial\Phi}{\partial n'}Do,$$

wo die Integrale rechter Hand jetzt nur noch ausgedehnt sind über die Grenzfläche $(\mathfrak{L},\mathfrak{L}')$.

Multiplicirt man jetzt die Gleichung (F.) und (G.) mit den Constanten ε und ε' [d. i. mit den constanten Dielektricitätscoefficienten der Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$], und addirt, so erhält man mit Rücksicht auf (C.) sofort:

(H.) $$\varepsilon\int_{\mathfrak{L}}\Box\Phi\cdot D\mathfrak{v}+\varepsilon'\int_{\mathfrak{L}'}\Box\Phi\cdot D\mathfrak{v}=0.$$

Hieraus aber ergiebt sich, dass Φ in den Räumen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ *constante Werthe* hat. Auch erkennt man aus (A.) und (B.) sofort, dass diese constanten Werthe beide $= 0$ sein müssen. U. s. w. — **Q. e. d.**

Digitized by Google

Zweitens: Betrachtung des Raumes $\mathfrak{L}_0$. — Könnte das Potential φ in diesem Raume $\mathfrak{L}_0$ *zweierlei* Werthe haben, und bezeichnet man die Differenz dieser beiderlei Werthe mit Φ, so würde sich aus (14.) für dieses Φ folgende Bestimmung ergeben:

(a.) $\Phi = 0$, auf der *innern* Oberfläche von $\mathfrak{L}_0$.

Was die im Unendlichen liegende *äussere* Oberfläche des Raumes $\mathfrak{L}_0$ anbelangt, so wird offenbar Φ [ebenso wie jene beiderlei Potentialwerthe φ, deren Differenz durch Φ repräsentirt ist] ein Potential von Massen vorstellen, die ausgebreitet sind auf den gegebenen Grenzflächen, also das Potential von Massen, die alle im *Endlichen* liegen. Demgemäss wird Φ in einem unendlich fernen Punct (x, y, z) den Werth $\frac{C}{\varrho}$ besitzen, wo ϱ den Centralabstand dieses unendlich fernen Punctes (x, y, z) vorstellt, während C eine noch unbekannte *Constante* bezeichnet. Somit ergiebt sich also:

(b.) $\Phi = \frac{C}{\varrho}$, auf der *äussern* (unendlich fernen) Grenzfläche des Raumes $\mathfrak{L}_0$.

Nun ist offenbar:

$$\text{(c.)} \qquad \int_{\mathfrak{L}_0} \square\Phi \cdot D\mathfrak{v} = -\int_{\mathfrak{L}_0} \Phi \frac{\partial \Phi}{\partial n} D\sigma,$$

die Integration rechter Hand ausgedehnt gedacht über die in (a.) und (b.) genannten beiden Grenzflächen des Raumes $\mathfrak{L}_0$. Die rechte Seite der Formel (c.) ist also in Wirklichkeit eine Summe *zweier* Integrale, von denen eines über die *innere*, das andere über die *äussere* Oberfläche des Raumes $\mathfrak{L}_0$ sich ausdehnt. Jedes dieser beiden Integrale ist aber, wie aus (a.) und (b.) sich leicht ergiebt, gleich *Null*; sodass also die Formel (c.) sich reducirt auf:

$$\text{(d.)} \qquad \int_{\mathfrak{L}_0} \square\Phi \cdot D\mathfrak{v} = 0.$$

Hieraus aber folgt sofort, dass Φ im Raume $\mathfrak{L}_0$ *constant* ist; und dieser constante Werth muss, wie aus (a.) sich ergiebt, gleich *Null* sein. U. s. w. — **Q. e. d.**

Um die Hauptsache hervorzuheben: *Das Potential φ rührt her von noch unbekannten Belegungen (S) der gegebenen Grenzflächen, und wird, falls man die Constanten K und K_0 als gegeben ansieht, durch die obigen Formeln* (13.), (14.), (15.) *in allen Puncten (x, y, z) des ganzen unendlichen Raumes eindeutig bestimmt sein. Gelingt es also, ein von irgend welchen Belegungen der gegebenen Grenzflächen herrührendes Potential φ zu finden, welches den Formeln* (13.), (14.), (15.) *Genüge leistet, so werden wir sicher sein, in diesem φ den Werth des eigentlich gesuchten Potentials vor uns zu haben.*

Jene gegebenen Grenzflächen sind dargestellt durch die Kugelflächen (α), (β), (γ) und die ebene ringförmige Fläche $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$. Denkt man sich nun auf diesen vier Flächen die Massen A, B,

Digitized by Google

C und 0 in gleichförmiger Weise ausgebreitet, wo A, B, C noch disponible Constanten sein sollen, so wird das Potential φ dieser Massenbelegungen folgende Werthe haben:

$$(16.)\qquad \begin{cases} \varphi = \frac{A}{\alpha} + \frac{B}{\beta} + \frac{C}{\gamma}, & \text{für } \varrho < \alpha, \\ \varphi = \frac{A}{\varrho} + \frac{B}{\beta} + \frac{C}{\gamma}, & \text{für } \alpha < \varrho < \beta, \\ \varphi = \frac{A}{\varrho} + \frac{B}{\varrho} + \frac{C}{\gamma}, & \text{für } \beta < \varrho < \gamma, \\ \varphi = \frac{A}{\varrho} + \frac{B}{\varrho} + \frac{C}{\varrho}, & \text{für } \gamma < \varrho, \end{cases}$$

wo ϱ den Centralabstand des sollicitirten Punctes vorstellt.

Dieses Potential φ hängt, wie man sieht, nur allein von ϱ ab, und wird daher der Formel (15.) Genüge leisten [weil die in (15.) enthaltenen Richtungen n und n' senkrecht stehen gegen die Richtung ϱ]. Auch wird dasselbe den Formeln (13.), (14.) Genüge leisten, falls man nur über jene noch disponiblen Constanten A, B, C in geeigneter Weise verfügt; und zwar hat man zu diesem Zweck zu setzen:

$$(17.)\qquad \begin{cases} \frac{A}{\alpha} + \frac{B}{\beta} + \frac{C}{\gamma} = K, & \text{und:} \\ \frac{A+B}{\varrho} + \frac{C}{\gamma} = K_0 & \text{für } \beta < \varrho < \gamma. \end{cases}$$

Aus der letzten Gleichung, die für *beliebige*, zwischen β und γ liegende Werthe von ϱ erfüllt sein muss, folgt sofort: $A + B = 0$ und $C = K_0\gamma$; sodass man also zur Berechnung von A, B, C im Ganzen *drei* Gleichungen erhält, nämlich:

$$(17a.)\qquad \begin{cases} \frac{A}{\alpha} + \frac{B}{\beta} + \frac{C}{\gamma} = K, \\ A + B = 0 \text{ und } C = K_0\gamma. \end{cases}$$

Und hieraus ergiebt sich:

$$(18.)\qquad A = +\frac{(K-K_0)\alpha\beta}{\beta-\alpha}, \quad B = -\frac{(K-K_0)\alpha\beta}{\beta-\alpha} \quad \text{und} \quad C = K_0\gamma.$$

Substituirt man diese Werthe in den Formeln (16.), so erhalten dieselben folgende Gestalt:

$$(19.)\qquad \begin{cases} \varphi = K, \ldots\ldots\ldots & \text{für } \varrho < \alpha, \\ \varphi = \frac{(K-K_0)\alpha\beta}{\beta-\alpha}\left(\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{\beta}\right) + K_0, & \text{für } \alpha < \varrho < \beta, \\ \varphi = K_0, \ldots\ldots\ldots & \text{für } \beta < \varrho < \gamma, \\ \varphi = \frac{K_0\gamma}{\varrho}, \ldots\ldots\ldots & \text{für } \gamma < \varrho. \end{cases}$$

Digitized by Google

Dieses durch die Formeln (19.) dargestellte Potential φ rührt also her von gewissen Belegungen der gegebenen Grenzflächen, und hat zugleich die Eigenschaft den Formeln (13.), (14.), (15.) Genüge zu leisten. *Folglich wird es das von uns gesuchte Potential sein.*

§ 45.

Berechnung der elektrischen Dichtigkeiten σ, S, (σ), (S) und der elektrischen Zustandscomponenten $\mathfrak{X}$, $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{Z}$.

Zunächst sei wiederholt, dass

(20.) σ und (σ) überall $= 0$ sind. [Vgl. (8.).]

Was ferner die Flächendichtigkeiten S und (S) betrifft, so sind dieselben aus dem schon berechneten Potential φ (19.) abzuleiten mittelst der Formeln (9.), (10.). Doch kann man zur Berechnung der Dichtigkeiten (S), falls es beliebt, auch einen andern Weg einschlagen. Aus den letzten Betrachtungen des vorigen Paragraphs ergiebt sich nämlich sofort, dass die dortigen Constanten A, B, C identisch sind mit den auf den Kugelflächen (α), (β), (γ) angehäuften Mengen von freier Elektricität. Man erhält daher

$$(S) = \frac{A}{4\pi\alpha^2} \text{ auf der Fläche } (\alpha),$$

$$(S) = \frac{B}{4\pi\beta^2} \text{ auf der Fläche } (\beta),$$

$$(S) = \frac{C}{4\pi\gamma^2} \text{ auf der Fläche } (\gamma).$$

Ebenso ergiebt sich aus jenen letzten Betrachtungen des vorigen Paragraphs, dass die freie Elektricität auf der Grenzfläche $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$ überall $= 0$ ist. Also:

$$(S) = 0 \text{ auf der Fläche } (\mathfrak{L}, \mathfrak{L}').$$

Substituirt man in den vorstehenden Formeln für A, B, C ihre Werthe (18.), so erhält man:

(21.)
$$\begin{cases} (S) = +\frac{1}{4\pi\alpha^2}\frac{(K-K_0)\alpha\beta}{\beta-\alpha}, \text{ auf der Fläche } (\alpha), \\ (S) = -\frac{1}{4\pi\beta^2}\frac{(K-K_0)\alpha\beta}{\beta-\alpha}, \text{ auf der Fläche } (\beta), \\ (S) = +\frac{1}{4\pi\gamma^2}\frac{K_0\gamma}{1} = +\frac{K_0}{4\pi\gamma}, \text{ auf der Fläche } (\gamma), \\ (S) = \textit{Null}, \text{ auf der Fläche } (\mathfrak{L}, \mathfrak{L}'). \end{cases}$$

Digitized by Google

Was ferner die Dichtigkeiten S betrifft, so ergeben sich aus (9.) und (10.) z. B. mit Bezug auf die Fläche (α) folgende Formeln:

$$\left.\begin{aligned} -4\pi S &= \varepsilon \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)_{\varrho=\alpha} \\ -4\pi(S) &= \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)_{\varrho=\alpha} \end{aligned}\right\} \text{auf der Fläche } (\alpha);$$

denn es ist zu beachten, dass φ innerhalb der Kugel $\mathfrak{K}$ constant ist. Aus diesen beiden Formeln folgt aber sofort:

$$S = \varepsilon(S), \text{ auf der Fläche } (\alpha);$$

und zwar wird der hier auftretende Factor ε, je nachdem man einen *untern* oder einen *obern* Punct der Fläche (α) ins Auge fasst, im erstern Fall $= \varepsilon$ (d. i. gleich dem Dielektricitätscoefficienten der Substanz $\mathfrak{L}$), und im letztern Fall $= \varepsilon'$ (d. i. gleich dem Dielektricitätscoefficienten der Substanz $\mathfrak{L}'$) sein.

In analoger Weise kann man die Dichtigkeiten S auf den Flächen (β) und (γ) finden. Endlich wird die Dichtigkeit S auf der Fläche ($\mathfrak{L}$, $\mathfrak{L}'$) überall $= 0$ sein; wie schon in (11.) bemerkt ist. Alles zusammengefasst, gelangt man also zu folgenden Formeln:

(22.)
$$\left\{\begin{aligned} &\left\{\begin{aligned} &S = \varepsilon\,(S) \text{ auf dem } \textit{untern} \text{ Theil der Fläche } (\alpha), \\ &S = \varepsilon'(S) \text{ auf dem } \textit{obern} \text{ Theil derselben;} \end{aligned}\right. \\ &\text{ferner:} \\ &\left\{\begin{aligned} &S = \varepsilon\,(S) \text{ auf dem } \textit{untern} \text{ Theil der Fläche } (\beta), \\ &S = \varepsilon'(S) \text{ auf dem } \textit{obern} \text{ Theil derselben;} \end{aligned}\right. \\ &\text{ferner:} \\ &\quad S = \varepsilon_0(S) \text{ auf der Fläche } (\gamma); \\ &\text{und endlich:} \\ &\quad S = \textit{Null} \text{ auf der Fläche } (\mathfrak{L}, \mathfrak{L}'); \end{aligned}\right.$$

in diesen Formeln (22.) sind ε, ε' und ε_0 die Dielektricitätscoefficienten der Substanzen $\mathfrak{L}$, $\mathfrak{L}'$ und $\mathfrak{L}_0$.

Was nun ferner die elektrischen Zustandscomponenten $\mathfrak{X}$, $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{Z}$ anbelangt, so kann man deren Werthe aus dem schon berechneten Potential φ (19.) leicht ableiten mittelst der Formeln (6.) Seite 80; was weiter auszuführen überflüssig sein würde.

Digitized by Google

§ 46.

Berechnung der durch den elektrischen Zustand hervorgerufenen ponderomotorischen Kräfte Ξ, H, Z.

Inmitten der gegebenen Substanzen $\mathfrak{K}$, $\mathfrak{K}_0$, $\mathfrak{L}$, $\mathfrak{L}'$, $\mathfrak{L}_0$ werde irgend ein substantielles Volumelement Dv construirt mit den Coordinaten x, y, z. Vermöge des elektrischen Zustandes der gegebenen Substanzen werden alsdann auf dieses Element Dv gewisse ponderomotorische Kräfte ΞDv, $\mathsf{H}Dv$, $\mathsf{Z}Dv$ einwirken, die folgende Werthe besitzen:

$$(23.)\qquad \begin{cases} \Xi Dv = -\varepsilon \dfrac{\partial \varphi}{\partial x}(\sigma) Dv, \\ \mathsf{H}Dv = -\varepsilon \dfrac{\partial \varphi}{\partial y}(\sigma) Dv, \\ \mathsf{Z}Dv = -\varepsilon \dfrac{\partial \varphi}{\partial z}(\sigma) Dv. \end{cases}$$

Doch gelten diese einfachen Formeln nur allein dann, wenn das Element Dv in *homogener* Substanz liegt. [Vgl. Abh. I, Seite 326 (7.).] Auch reduciren sich dieselben in diesem Falle auf

$$(24.)\qquad \Xi Dv = 0, \quad \mathsf{H}Dv = 0, \quad \mathsf{Z}Dv = 0;$$

denn nach (20.) ist die Dichtigkeit (σ) überall $= 0$.

Die ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs sind also für die Elemente homogener Substanz sämmtlich $= 0$. *Und es können daher diese Kräfte wirkliche Werthe nur noch besitzen für die Elemente der Uebergangsschichten.* Um diese letztern Kräfte wirklich zu finden, machen wir Gebrauch von einem früher [Abh. I, Seite 324 (4.), (5.)] aufgestellten allgemeinen Satz. Derselbe lautet:

Es sei Ω ein *ganz beliebig* abgegrenztes substantielles Volumen, und es seien $\Xi\Omega$, $\mathsf{H}\Omega$, $\mathsf{Z}\Omega$ die auf dieses Volumen Ω einwirkenden ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs. Alsdann wird z. B. $\Xi\Omega$ folgenden Werth haben:

$$(25.)\qquad \Xi\Omega = \int_{\Omega} \frac{2\mathfrak{X}[\mathfrak{X}\cos(n,x) + \mathfrak{Y}\cos(n,y) + \mathfrak{Z}\cos(n,z)] - \mathfrak{R}^2\cos(n,x)}{8\pi\varepsilon} Do,$$

die Integration ausgedehnt gedacht über alle Oberflächenelemente Do des Volumens Ω. Dabei bezeichnet n die auf Do errichtete äussere Normale. Ueberdiess steht $\mathfrak{R}^2$ für $(\mathfrak{X}^2 + \mathfrak{Y}^2 + \mathfrak{Z}^2)$.

Digitized by Google

Bei unsern gegenwärtigen Untersuchungen haben $\mathfrak{X}$, $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{Z}$ die Werthe [(6.) Seite 80]:

$$(\alpha.) \qquad \mathfrak{X} = -\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial x}, \quad \mathfrak{Y} = -\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial y}, \quad \mathfrak{Z} = -\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial z};$$

und diesen Werthen können wir, weil φ nur allein von ϱ abhängt [vgl. (19.)], und $\varrho^2 = x^2 + y^2 + z^2$ ist, folgende Gestalt geben:

$$(\beta.) \qquad \mathfrak{X} = -\varepsilon\frac{d\varphi}{d\varrho}\frac{x}{\varrho}, \quad \mathfrak{Y} = -\varepsilon\frac{d\varphi}{d\varrho}\frac{y}{\varrho}, \quad \mathfrak{Z} = -\varepsilon\frac{d\varphi}{d\varrho}\frac{z}{\varrho};$$

woraus z. B. folgt:

$$(\gamma.) \qquad \mathfrak{R}^2 = \mathfrak{X}^2 + \mathfrak{Y}^2 + \mathfrak{Z}^2 = \varepsilon^2\left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2.$$

Auch ergiebt sich aus $(\alpha.)$

$$(\delta.) \qquad \mathfrak{X}\cos(n,x) + \mathfrak{Y}\cos(n,y) + \mathfrak{Z}\cos(n,z) = -\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial n}.$$

Mittelst dieser Formeln $(\alpha.)$, $(\beta.)$, $(\gamma.)$, $(\delta.)$ gewinnt der in (25.) unter dem Integralzeichen stehende Ausdruck folgende Gestalt:

$$\left[2\varepsilon\frac{d\varphi}{d\varrho}\frac{x}{\varrho}\cdot\varepsilon\frac{\partial\varphi}{\partial n} - \varepsilon^2\left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2\cos(n,x)\right]\frac{Do}{8\pi\varepsilon};$$

wofür man offenbar auch schreiben kann:

$$\frac{d\varphi}{d\varrho}\left[2\frac{\partial\varphi}{\partial n}\frac{x}{\varrho} - \frac{d\varphi}{d\varrho}\cos(n,x)\right]\frac{\varepsilon Do}{8\pi}.$$

Substituirt man dies in (25.), und beachtet man dabei, dass $\frac{x}{\varrho} = \cos(\varrho, x)$ ist, so erhält man*):

$$(26.) \qquad \Xi\Omega = \int_{\Omega}\frac{d\varphi}{d\varrho}\left[2\frac{\partial\varphi}{\partial n}\cos(\varrho,x) - \frac{d\varphi}{d\varrho}\cos(n,x)\right]\frac{\varepsilon Do}{8\pi},$$

wo also n (nach wie vor) die auf Do errichtete, in den Aussenraum von Ω hineinlaufende Normale vorstellt.

Wir können nun für Ω z. B. das *scheibenförmige Element* Dv irgend einer Uebergangsschicht nehmen. Die Oberfläche dieses Elementes Ω oder Dv besteht alsdann aus zwei einander gegenüberliegenden parallelen Flächenelementen Do und Do' (die beide von gleicher Grösse sind) und daneben aus einer verschwindend schmalen gürtelförmigen Fläche. Und es wird daher in diesem Falle die Formel (26.), unter Vernachlässigung jener schmalen gürtelförmigen Fläche, folgende Gestalt annehmen:

*) Kaum bedarf es der Bemerkung, dass aus dieser allgemeinen Formel (26.) die vorhin angegebenen Formeln (23.), (24.) leicht ableitbar sind.

Digitized by Google

$$(27.) \qquad \Xi Dv = \left\{ \begin{array}{l} + \frac{d\varphi}{d\varrho}\left[2\frac{\partial\varphi}{\partial n}\cos(\varrho,x) - \frac{d\varphi}{d\varrho}\cos(n,x)\right]\frac{\varepsilon Do}{8\pi} \\ + \frac{d\varphi}{d\varrho}\left[2\frac{\partial\varphi}{\partial n'}\cos(\varrho,x) - \frac{d\varphi}{d\varrho}\cos(n',x)\right]\frac{\varepsilon' Do'}{8\pi} \end{array} \right\},$$

wo $Do = Do'$ ist. Hier sind alsdann ε und ε' die Dielektricitätscoefficienten in Do und in Do'. Ferner sind n und n' die von einander abgewendeten Normalen der Elemente Do und Do'. — Analoge Ausdrücke werden offenbar für $\mathsf{H}Dv$ und $\mathsf{Z}Dv$ gelten; man wird dieselben aus dem Ausdruck (27.) durch Vertauschung von x respective mit y und z erhalten.

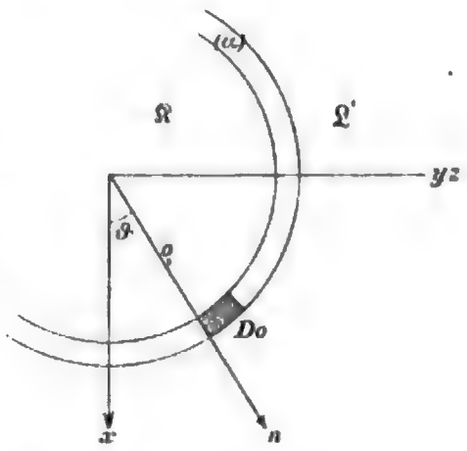
Die Formel (27.) wollen wir nun auf die einzelnen Uebergangsschichten (α), (β), (γ) und $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$ der Reihe nach in Anwendung bringen.

Die Uebergangsschicht (α) besteht aus den beiden Theilen $(\mathfrak{K}, \mathfrak{L})$ und $(\mathfrak{K}, \mathfrak{L}')$. Wir nehmen zuvörderst für Dv das in der Figur *schraffirte* scheibenförmige Element der Schicht $(\mathfrak{K}, \mathfrak{L})$. Von den beiden dieses Dv begrenzenden Oberflächenelementen Do und Do', sei Do dasjenige, welches der homogenen Substanz $\mathfrak{L}$ angehört; sodass also Do' dem homogenen Metalle $\mathfrak{K}$ zugehören wird. Alsdann werden für dieses letztere Element Do' die Ableitungen $\frac{d\varphi}{d\varrho}$ und $\frac{\partial\varphi}{\partial n'}$ *verschwinden;* weil φ im homogenen Metalle $\mathfrak{K}$ *constant*, $= K$ ist. Demgemäss wird also die Formel (27.) für das in Rede stehende Dv sich reduciren auf:

$$(28.) \qquad \Xi Dv = \frac{d\varphi}{d\varrho}\left[2\frac{\partial\varphi}{\partial n}\cos(\varrho, x) - \frac{d\varphi}{d\varrho}\cos(n, x)\right]\frac{\varepsilon Do}{8\pi}.$$

Auch ist im gegenwärtigen Fall n offenbar identisch mit der Richtung des nach Do laufenden Kugelradius ϱ, mithin z. B.: $\frac{\partial\varphi}{\partial n} = \frac{d\varphi}{d\varrho}$; sodass also der in (28.) in den eckigen Klammern enthaltene Ausdruck sich reducirt auf

$$\frac{d\varphi}{d\varrho}\cos(\varrho, x).$$



Setzt man also den Winkel $(\varrho, x) = \vartheta$, so gewinnt die Formel (28.) folgende Gestalt:

$$(29.) \qquad \Xi Dv = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \frac{\varepsilon Do \cdot \cos\vartheta}{8\pi}.$$

Wir wollen nun jetzt das in der Figur schraffirte scheibenförmige Volumelement Dv und das demselben zugehörige Flächen-

Digitized by Google

element Do an der yzEbene sich spiegeln lassen. Die so entstehenden Spiegelbilder $D\mathfrak{v}'$ und Do' sind offenbar*) für die Uebergangsschicht $(\mathfrak{R}, \mathfrak{L}')$ von analoger Bedeutung, wie $D\mathfrak{v}$ und Do für die Schicht $(\mathfrak{R}, \mathfrak{L})$. Auch übersieht man leicht, dass man für die auf dieses neue Element $D\mathfrak{v}'$ einwirkende ponderomotorische Kraft $\Xi' D\mathfrak{v}'$ folgende mit (29.) analoge Formel erhalten wird:

$$\Xi' D\mathfrak{v}' = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \frac{\varepsilon' Do' \cdot \cos(180^0 - \vartheta)}{8\pi}, \tag{30.}$$

wo ϑ ebendenselben Winkel vorstellt, wie in (29.)

Offenbar sind $Do\cos\vartheta$ und $Do'\cos\vartheta$ die senkrechten Projectionen von Do und Do' auf die yzEbene. Integrirt man also die Formel (29.) über alle Elemente $D\mathfrak{v}$ der Schicht $(\mathfrak{R}, \mathfrak{L})$, und ebenso die Formel (30.) über alle Elemente $D\mathfrak{v}'$ der Schicht $(\mathfrak{R}, \mathfrak{L}')$, so erhält man sofort:

$$\int \Xi D\mathfrak{v} = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \frac{\varepsilon \pi \alpha^2}{8\pi}, \tag{31.}$$

und

$$\int \Xi' D\mathfrak{v}' = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \frac{\varepsilon' \pi \alpha^2}{8\pi}(-1); \tag{32.}$$

woraus durch Addition sich ergiebt:

$$\int \Xi D\mathfrak{v} + \int \Xi' D\mathfrak{v}' = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \frac{(\varepsilon - \varepsilon')\alpha^2}{8}. \tag{33.}$$

Hier ist nach (19.):

$$\left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{1}{\varrho}\right)^4, \text{ oder vielmehr } = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{1}{\alpha}\right)^4. \tag{33a.}$$

Man erhält also schliesslich:

$$\int \Xi D\mathfrak{v} + \int \Xi' D\mathfrak{v}' = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8\alpha^2}. \tag{34.}$$

Die linke Seite dieser Formel repräsentirt offenbar die *Summe* aller auf die ganze Uebergangsschicht (α) in der Richtung der xAxe einwirkenden ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs. Bezeichnet man demgemäss diese Summe kurzweg mit $\Xi_{(\alpha)}$, so erhält man:

$$\Xi_{(\alpha)} = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8\alpha^2}, \tag{35.}$$

wo alsdann ε und ε' [ebenso wie in (28.), (29.), (30.), (31.), (32.), (33.), (34.)] die Dielektricitätscoefficienten der Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ vorstellen.

---

*) Do' soll hier das Spiegelbild von Do in Bezug auf die yzEbene sein, und hat hier also eine ganz andere Bedeutung als z. B. vorhin in (27.).

Digitized by Google

Bemerkung. — Der Winkel ϑ in (29.) ist $= (\varrho, x)$; sodass also jene Formel (29.) lautet:

(a.) $$\begin{cases} \Xi Dv = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \frac{\varepsilon Do}{8\pi} \cos(\varrho, x). \text{ Ebenso wird man offenbar finden:} \\ \mathsf{H} Dv = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \frac{\varepsilon Do}{8\pi} \cos(\varrho, y), \text{ und:} \\ Z Dv = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \frac{\varepsilon Do}{8\pi} \cos(\varrho, z). \end{cases}$$

Dies sind die drei *Componenten* der auf das betrachtete Element Dv einwirkenden Kraft. Und man gelangt daher zu folgendem Satz:

Ist Dv irgend ein scheibenförmiges Element der Uebergangsschicht $(\mathfrak{K}, \mathfrak{L})$, so wird die auf Dv einwirkende ponderomotorische Kraft elektrischen Ursprungs gegen diese kleine Scheibe Dv senkrecht stehen, und, in centrifugaler Richtung gerechnet, folgenden Werth haben:

(b.) $$\mathsf{P} Dv = \left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon Do}{8\pi};$$

wofür man mit Rücksicht auf (33a.) auch schreiben kann:

(c.) $$\mathsf{P} Dv = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \frac{\varepsilon Do}{8\pi\alpha^4};$$

dabei bezeichnet ε den Dielektricitätscoefficienten der Substanz $\mathfrak{L}$; während Do das der kleinen Scheibe Dv entsprechende Flächenelement sein soll.

Analoges wird offenbar, im Anschluss an die Formel (30.), zu bemerken sein in Betreff der Uebergangsschicht $(\mathfrak{K}, \mathfrak{L}')$.

Die auf ein scheibenförmiges Element Dv' der Uebergangsschicht $(\mathfrak{K}, \mathfrak{L}')$ einwirkende ponderomotorische Kraft $\mathsf{P}' Dv'$ wird also gegen diese kleine Scheibe Dv' senkrecht sein, und in centrifugaler Richtung gerechnet, den Werth haben:

(d.) $$\mathsf{P}' Dv' = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \frac{\varepsilon' Do'}{8\pi\alpha^4},$$

wo ε' die Dielektricitätscoefficienten der Substanz $\mathfrak{L}'$ vorstellt; während Do' das der kleinen Scheibe Dv' entsprechende Flächenelement sein soll.

Die aus den beiden Theilen $(\mathfrak{K}_0, \mathfrak{L})$ und $(\mathfrak{K}_0, \mathfrak{L}')$ bestehende Uebergangsschicht (β) wird offenbar in ganz ähnlicher Art zu behandeln sein, wie soeben die Schicht (α) behandelt wurde. Man erhält in solcher Weise folgende zu (35.) parallel stehende Formel:

(36.) $$\Xi_{(\beta)} = (-1)\left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8\beta^2},$$

wo $\Xi_{(\beta)}$ die *Summe* all' derjenigen ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs vorstellt, die in der Richtung der x-Axe einwirken auf die Uebergangschicht (β); dabei sind alsdann unter ε und ε' wiederum die Dielektricitätscoefficienten der Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ zu verstehen.

Bemerkung. — Was die auf die *einzelnen Elemente* der Uebergangsschicht (β) einwirkenden Kräfte betrifft, so gelangt man zu Resultaten, die

Digitized by Google

einigermassen analog sind mit den in (c.), (d.) Seite 92 für die Uebergangsschicht (α) erhaltenen Resultaten.

Sind nämlich $D\mathfrak{v}$ und $D\mathfrak{v}'$ zwei scheibenförmige Elemente der Schichten $(\mathfrak{K}_0, \mathfrak{L})$ und $(\mathfrak{K}_0, \mathfrak{L}')$, so werden die auf $D\mathfrak{v}$ und $D\mathfrak{v}'$ einwirkenden ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs $\mathsf{P}D\mathfrak{v}$ und $\mathsf{P}'D\mathfrak{v}'$ gegen diese kleinen Scheiben $D\mathfrak{v}$ und $D\mathfrak{v}'$ senkrecht sein, und, in centripetaler Richtung gerechnet, folgende Werthe haben:

$$(c.) \qquad \mathsf{P}D\mathfrak{v} = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \frac{\varepsilon Do}{8\pi\beta^4},$$

$$(f.) \qquad \mathsf{P}'D\mathfrak{v}' = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \frac{\varepsilon' Do'}{8\pi\beta^4},$$

wo ε und ε' die Dielektricitätscoefficienten der Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ vorstellen; während Do und Do' die den kleinen Scheiben $D\mathfrak{v}$ und $D\mathfrak{v}'$ entsprechenden Flächenelemente bezeichnen.

Was ferner die Uebergangsschicht (γ) oder $(\mathfrak{K}_0, \mathfrak{L}_0)$ anbelangt, so bemerkt man sofort [vgl. die Figur Seite 80], dass bei ihrer *untern* und *obern* Hälfte ein und dieselbe Constante ε_0 (nämlich die Dielektricitätsconstante ε_0 der die Schaale $\mathfrak{K}_0$ umgebenden Luft $\mathfrak{L}_0$) in Betracht kommt. Demgemäss gelangt man, wie leicht zu übersehen ist, zu folgender Formel:

$$(37.) \qquad \Xi_{(\gamma)} = Null,$$

wo $\Xi_{(\gamma)}$ die *Summe* all' derjenigen ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs vorstellt, welche in der Richtung der x-Axe ausgeübt werden auf die Schicht (γ).

Bemerkung. — Für die *einzelnen Elemente* der Uebergangsschicht gelangt man offenbar zu ähnlichen Resultaten, wie in (c.), (d.) Seite 92. Jedenfalls aber werden hier die dortigen Constanten ε und ε' beide durch die *eine* Constante ε_0 zu ersetzen sein. Statt jener beiden Formeln (c.), (d.) erhält man also hier bei der Schicht (γ) nur *eine* Formel. Kurz man gelangt zu folgendem Satz:

Ist $D\mathfrak{v}$ irgend ein scheibenförmiges Element der Uebergangsschicht (γ) oder $(\mathfrak{K}_0, \mathfrak{L}_0)$, so wird die auf $D\mathfrak{v}$ einwirkende ponderomotorische Kraft elektrischen Ursprungs $\mathsf{P}D\mathfrak{v}$ gegen die kleine Scheibe $D\mathfrak{v}$ senkrecht sein, und, in centrifugaler Richtung gerechnet, folgenden Werth haben:

$$(g.) \qquad \mathsf{P}D\mathfrak{v} = \left(\frac{K_0}{\gamma}\right)^2 \frac{\varepsilon_0 Do}{8\pi},$$

wo ε_0 den Dielektricitätscoefficienten der Luft $\mathfrak{L}_0$ vorstellt, während Do das der kleinen Scheibe $D\mathfrak{v}$ entsprechende Flächenelement bezeichnet.

Wir kommen endlich zur Uebergangsschicht $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$. — Es sei $D\mathfrak{v}$ ein scheibenförmiges Element der Schicht $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$, dasselbe sei begrenzt von dem *untern* Flächenelement Do, und von dem *obern* Flächenelement Do', [vgl. die folgende Figur]. Sind nun $\Xi D\mathfrak{v}$,

Digitized by Google

$\mathsf{H}\,Dv$, $\mathsf{Z}\,Dv$ die auf dieses Dv einwirkenden ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs, so wird z. B. $\Xi\,Dv$ nach (27.) den Werth haben:

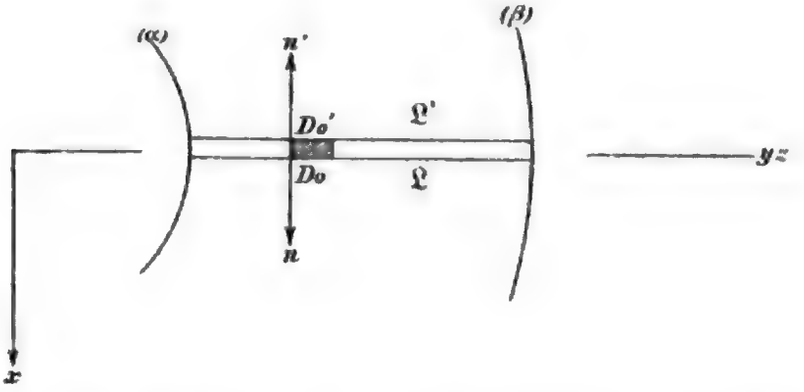
$$(38.)\quad \Xi\,Dv = \begin{Bmatrix} + \frac{d\varphi}{d\varrho}\left[2\frac{\partial\varphi}{\partial n}\cos(\varrho, x) - \frac{d\varphi}{d\varrho}\cos(n, x)\right]\frac{\varepsilon\,Do}{8\pi} \\ + \frac{d\varphi}{d\varrho}\left[2\frac{\partial\varphi}{\partial n'}\cos(\varrho, x) - \frac{d\varphi}{d\varrho}\cos(n', x)\right]\frac{\varepsilon'\,Do'}{8\pi} \end{Bmatrix}.$$

Nach (19.) ist aber φ nur von ϱ abhängig. Und es werden daher die Ableitungen

$$\frac{\partial\varphi}{\partial n} \quad \text{und} \quad \frac{\partial\varphi}{\partial n'}$$

beide $= 0$ sein, weil die Richtungen n und n' gegen die Richtung ϱ senkrecht stehen. Demgemäss reducirt sich die Formel (38.) auf

$$(39.)\quad \Xi\,Dv = -\left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2\left[\cos(n, x)\frac{\varepsilon\,Do}{8\pi} + \cos(n', x)\frac{\varepsilon'\,Do'}{8\pi}\right],$$



wofür man, weil $\cos(n, x) = 1$, ferner $\cos(n', x) = -1$ und $Do = Do'$ ist, auch schreiben kann:

$$(40.)\quad \Xi\,Dv = -\left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2\frac{(\varepsilon - \varepsilon')\,Do}{8\pi}.$$

Nun ist aber nach (19.):

$$\left(\frac{d\varphi}{d\varrho}\right)^2 = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)\left(\frac{1}{\varrho}\right)^4.$$

Somit folgt:

$$(41.)\quad \Xi\,Dv = -\left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8\pi}\right)\frac{Do}{\varrho^4}.$$

Integrirt man diese Formel über alle Elemente Dv der betrachteten Uebergangsschicht (Ω, Ω'), so erhält man:

$$(42.)\quad \int \Xi\,Dv = -\left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8\pi}\right)\int\frac{Do}{\varrho^4}.$$

Digitized by Google

Was das hier auftretende Integral rechter Hand betrifft, so kann man $Do = \varrho d\varrho d\psi$ setzen; alsdann ergiebt sich

$$\int \frac{Do}{\varrho^4} = \int_\alpha^\beta \int_0^{2\pi} \frac{\varrho d\varrho d\psi}{\varrho^4} = 2\pi \int_\alpha^\beta \frac{d\varrho}{\varrho^3} = \pi \left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\beta^2}\right).$$

Dies in (42.) substituirt, erhält man sofort:

$$(43.) \qquad \Xi_{(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')} = -\left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8}\right) \left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\beta^2}\right),$$

wo alsdann $\Xi_{(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')}$ die Summe all' derjenigen ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs vorstellt, welche in der Richtung der x-Axe einwirken auf die hier betrachtete Uebergangsschicht $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$; dabei sind ε und ε' die Dielektricitätscoefficienten der beiden Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$.

Bemerkung. — Nach (41.) ist:

$$(h.) \qquad \Xi Dv = -\left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8\pi}\right) \frac{Do}{\varrho^4}.$$

Andererseits werden sich die Werthe von $\mathsf{H}Dv$ und $\mathsf{Z}Dv$ aus der Formel (39.) dadurch ergeben, dass man in ihr x durch y, respective durch z ersetzt. Man erhält somit:

$$(i.) \qquad \mathsf{H}Dv = 0 \quad \text{und} \quad \mathsf{Z}Dv = 0.$$

Diese Componenten ΞDv, $\mathsf{H}Dv$, $\mathsf{Z}Dv$ geben sofort Aufschluss über die *ganze* auf Dv einwirkende Kraft. Man gelangt also auf Grund der Formeln (h.), (i.) zu folgendem Resultat:

Ist Dv irgend ein scheibenförmiges Element der Uebergangsschicht $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$, so wird die auf Dv einwirkende ponderomotorische Kraft elektrischen Ursprungs $\mathsf{P}Dv$ gegen diese kleine Scheibe Dv senkrecht sein, und, vertical nach Oben gerechnet, folgenden Werth haben:

$$(k.) \qquad \mathsf{P}Dv = \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8\pi}\right) \frac{Do}{\varrho^4},$$

wo ε und ε' die Dielektricitätscoefficienten der Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ vorstellen. Dabei repräsentirt Do das der kleinen Scheibe Dv entsprechende Flächenelement, und ϱ den Abstand dieses Elementes vom Centrum der Kugel $\mathfrak{K}$.

Höchst merkwürdig erscheint, dass wir hier zu ponderomotorischen Kräften elektrostatischen Ursprungs gelangt sind, die auf substantielle Volumelemente Dv einwirken, in denen *weder wahre noch freie Elektricität* sich vorfindet. Denn für die hier in (k.) betrachteten, der Uebergangsschicht $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$ zugehörigen Elemente Dv sind [nach (21.), (22.)] die zugehörigen S und (S) beide $= 0$.

Prüfung der erhaltenen Resultate. — Die hier betrachteten ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs müssen [vgl. Abh. I, Seite 308] dem Princip der Gleichheit der Action und Reaction entsprechen. Ist also z. B. Dv irgend ein substantielles

Digitized by Google

Volumelement, und bezeichnet ΞDv die auf dasselbe in der Richtung der x-Axe einwirkende ponderomotorische Kraft elektrischen Ursprungs, so muss nach jenem Princip die Gleichung stattfinden:

$$\int \Xi Dv = 0, \tag{44.}$$

die Integration ausgedehnt gedacht über alle Volumelemente des ganzen unendlichen Raumes.

Dieses Integral reducirt sich, wie aus (24.) ersichtlich ist, auf die den *Uebergangsschichten* zugehörigen Elemente Dv; sodass also die Formel (44.), unter Anwendung der im gegenwärtigen Paragraph angewendeten Bezeichnungen, die Gestalt erhält;

$$\Xi_{(\alpha)} + \Xi_{(\beta)} + \Xi_{(\gamma)} + \Xi_{(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')} = 0. \tag{45.}$$

Substituirt man aber hier die Werthe (35.), (36.), (37.) und (43.), so erhält man sofort:

$$\left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8}\right)\left[\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\beta^2} + 0 - \left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\beta^2}\right)\right] = 0, \tag{46.}$$

d. i. eine Gleichung, die *identisch* erfüllt ist. Somit zeigt sich also, dass die von uns im gegenwärtigen Paragraph erhaltenen Resultate mit jenem Princip der Gleichheit der Action und Reaction in vollem Einklang sind.

Weitere Bemerkungen. — Die Grössen $\Xi_{(\alpha)}$, $\Xi_{(\beta)}$, $\Xi_{(\gamma)}$ und $\Xi_{(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')}$ repräsentiren offenbar diejenigen ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs, welche auf die einzelnen Uebergangsschichten (α), (β), (γ) und $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$ einwirken würden, wenn man jede solche Uebergangsschicht als einen *starren Körper* sich vorstellen wollte. Diese Kräfte sind theils *positiv*, theils *negativ*; denn es ist nach (35.), (36.), (37.) und (43.):

$$\Xi_{(\alpha)} = + \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8}\right) \frac{1}{\alpha^2}, \tag{47.}$$

$$\Xi_{(\beta)} = - \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8}\right) \frac{1}{\beta^2}, \tag{48.}$$

$$\Xi_{(\gamma)} = 0, \tag{49.}$$

$$\Xi_{(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')} = - \left(\frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8}\right)\left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\beta^2}\right). \tag{50.}$$

Und zwar ergiebt sich aus diesen Werthen sofort, dass $\Xi_{(\alpha)}$ *positiv*, hingegen $\Xi_{(\beta)}$ und $\Xi_{(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')}$ *negativ* sein werden, falls die Differenz $\varepsilon - \varepsilon'$ *positiv* ist; wie solches z. B. der Fall ist, wenn man die Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ respective durch *Methylalkohol* und *Luft* sich dargestellt denkt; denn alsdann ist $\varepsilon = 32,7$, hingegen $\varepsilon' = 1$.

Digitized by Google

Setzt man nun also $\varepsilon - \varepsilon'$ als *positiv* voraus, so wird die Kraft $\Xi_{(\alpha)}$ *vertical nach Unten* gerichtet sein, während gleichzeitig die Kräfte $\Xi_{(\beta)}$ und $\Xi_{(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')}$ alsdann *vertical nach Oben* wirken.

§ 47.

Sind die ponderomotorischen Kräfte Ξ, H, Z von solcher Stärke, dass man hoffen darf, sie der experimentellen Wahrnehmung und Messung zugänglich machen zu können?

Bei unsern früheren Untersuchungen (in Abh. II) wurde ein inmitten der Luft befindliches System von Conductoren betrachtet, deren jeder nur *eine* Oberfläche besitzen sollte; so dass also z. B. schaalenförmige Conductoren damals von der Betrachtung ausgeschlossen waren. Bei unsern damaligen Untersuchungen zeigte sich nun die MAXWELL-HERTZ'sche Theorie mit den Resultaten der althergebrachten POISSON'schen Theorie in guter Uebereinstimmung, vorausgesetzt, *dass man die Uebergangsschichten der einzelnen Conductoren mit diesen sich fest verbunden denkt*, also annimmt, dass jedwede auf eine solche Uebergangsschicht einwirkende ponderomotorische Kraft sich unmittelbar auf den betreffenden Conductor überträgt. [Vgl. Abh. II, Seite 857.]

Zu dieser Vorstellung, dass die Uebergangsschichten der einzelnen Conductoren mit diesen fest verbunden seien, sind wir damals also mit einer gewissen Nothwendigkeit hingedrängt worden. Und wir wollen daher an dieser Vorstellung auch gegenwärtig festhalten.

Alsdann sind offenbar $\Xi_{(\alpha)}$ und $\Xi_{(\beta)}$ nichts anderes als die *auf die Conductoren* $\mathfrak{K}$ *und* $\mathfrak{K}_0$ einwirkenden ponderomotorischen Kräfte elektrischen Ursprungs. Dabei auch noch der Kraft $\Xi_{(\gamma)}$ Erwähnung zu thun, ist überflüssig, weil $\Xi_{(\gamma)} = 0$ ist. [Vgl. (49.).]

Denken wir uns nun den schaalenförmigen Conductor $\mathfrak{K}_0$ [Figur S. 80] fest aufgestellt, und *völlig unbeweglich*, so wird die auf ihn einwirkende Kraft $\Xi_{(\beta)}$ *wirkungslos* sein; so dass alsdann unsere Aufmerksamkeit auf die Kraft $\Xi_{(\alpha)}$ sich concentrirt, *welche die Metallkugel* $\mathfrak{K}$ *in Bewegung zu setzen bestrebt ist.* Diese Kraft $\Xi_{(\alpha)}$ hat nun nach (47.) den Werth:

$$(51.) \qquad \Xi_{(\alpha)} = + \left(\frac{(K - K_0)\,\alpha\beta}{\beta - \alpha}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8}\right) \frac{1}{\alpha^2}.$$

In (21.) Seite 86 haben wir die Dichtigkeit (S) angegeben, mit welcher die in der Kugel $\mathfrak{K}$ vorhandene freie Elektricität auf

Digitized by Google

der Oberfläche dieser Kugel in *gleichförmiger* Weise ausgebreitet ist. Und aus jener Formel (21.) Seite 86 erkennt man sofort, dass die *Gesammtmasse* A dieser auf der Kugel $\mathfrak{K}$ vorhandenen freien Elektricität den Werth hat: $A = \frac{(K - K_0)\alpha\beta}{\beta - \alpha}$. Demgemäss kann man der Formel (51.) folgende Gestalt geben:

$$\Xi_{(\alpha)} = + A^2 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{8}\right) \frac{1}{\alpha^2}, \tag{52.}$$

woraus folgt:

$$\Xi_{(\alpha)} = \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{2}\right) \frac{A^2}{(2\alpha)^2}. \tag{53.}$$

Will man nun von der *Stärke* dieser die Metallkugel vertical nach Unten treibenden Kraft $\Xi_{(\alpha)}$ eine ungefähre Vorstellung haben, so denke man sich neben dieser Kugel $\mathfrak{K}$ vom Radius α, auf deren Oberfläche die freie Elektricitätsmenge A in gleichförmiger Weise ausgebreitet ist, für den Augenblick noch eine zweite Kugel $\mathfrak{J}$ von *derselben* Grösse und mit *derselben* elektrischen Oberflächenbelegung. Alsdann wird offenbar die in (53.) angegebene Kraft $\Xi_{(\alpha)}$ *genau* $\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{2}\right)$*mal so gross sein, als diejenige Abstossungskraft, mit welcher die Kugel* $\mathfrak{K}$ *und jene nur gedachte Kugel* $\mathfrak{J}$, *im Falle ihrer gegenseitigen Berührung, auf einander einwirken würden.*

Dabei ist hinzuzufügen, dass jener Factor $\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{2}\right)$ nahezu $= 16$ sein wird, falls man die Substanzen $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{L}'$ durch *Methylalkokol* und *Luft* sich dargestellt denkt; denn alsdann ist*): $\varepsilon = 32,7$ und $\varepsilon' = 1$, mithin

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{2} = \frac{31,7}{2} = 15,8. \tag{54.}$$

Hieraus dürfte hervorgehen, dass die die Metallkugel $\mathfrak{K}$ vertical nach Unten treibende Kraft $\Xi_{(\alpha)}$, bei passender Wahl der anzuwendenden Substanzen, von solcher Stärke ist, dass man wohl hoffen darf, dieselbe der experimentellen Wahrnehmung und Messung zugänglich zu machen.

Auch erkennt man leicht, dass die die Kugel $\mathfrak{K}$ vertical nach *Unten* treibende Kraft $\Xi_{(\alpha)}$ (53.) in ihrer Wirksamkeit noch unterstützt werden wird durch die die einzelnen Elemente Dv der Uebergangsschicht $(\mathfrak{L}, \mathfrak{L}')$ vertical nach *Oben* treibenden Kräfte (k.) Seite 95.

*) wie schon vorhin (auf Seite 78) angegeben wurde.

Digitized by Google

Nachträgliche Bemerkung.

Bei den Betrachtungen der vorliegenden Abhandlung ist durchweg vorausgesetzt, dass die an den Grenzflächen vorhandenen contactelektromotorischen Kräfte so gut wie *Null* sind; sodass also die Werthe des elektrostatischen Potentials φ zu beiden Seiten einer jeden solchen Grenzfläche *einander gleich* sind. Es ist das nichts Neues, sondern die allgemein übliche Annahme, sobald es sich (wie in vorliegender Abhandlung) um elektrostatische Probleme handelt, bei denen keine Berührung zwischen heterogenen Metallen stattfindet. [Vgl. Abh. II, Seite 771 (6) und Seite 772 (13.), (14.).]

Inhaltsübersicht.

Meine Abhandlungen I und II (aus den Jahren 1901 und 1902, beide im XXVII. Bande der Abh. d. math.-phys. Classe d. K. Sächs. Ges. d. Wiss.) enthalten im Ganzen zehn Capitel. Zu diesen tritt nun in der hier vorliegenden Abhandlung III ein elftes Capitel hinzu:

Elftes Capitel.

Ueber die ponderomotorischen Kräfte elektrostatischen Ursprungs für den Fall, dass das die gegebenen Conductoren umgebende Medium aus *zwei* isolirenden Substanzen zusammengesetzt ist.

Seite

Einleitung 77
§ 43. Genauere Formulirung der hier zu behandelnden Aufgabe 79
§ 44. Berechnung des von der freien Elektricität herrührenden Potentials φ. 82
§ 45. Berechnung der elektrischen Dichtigkeiten σ, S, (σ), (S) und der elektrischen Zustandscomponenten $\mathfrak{X}$, $\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{Z}$ 86
§ 46. Berechnung der durch den elektrischen Zustand hervorgebrachten ponderomotorischen Kräfte Ξ, H, Z 88
§ 47. Sind diese ponderomotorischen Kräfte Ξ, H, Z von solcher Stärke, dass man hoffen darf, sie der experimentellen Wahrnehmung und Messung zugänglich machen zu können? 97

Digitized by Google

Digitized by Google

ÜBER URAUSSCHEIDUNGEN IN RHEINISCHEN BASALTEN

VON

F. ZIRKEL.

Des XXVIII. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° III.

LEIPZIG
BEI B. G. TEUBNER
1903.

Digitized by Google

Vorgetragen für die Abhandlungen am 1. Dezember 1902.
Das Manuskript eingeliefert am 3. Dezember 1902.
Der letzte Bogen druckfertig erklärt am 23. Januar 1903.

ÜBER URAUSSCHEIDUNGEN IN RHEINISCHEN BASALTEN

VON

F. ZIRKEL.

Digitized by Google

Unter den von Basalten umhüllten und substanziell abweichenden Massen sind bis jetzt vorwiegend die in erster Linie aus Olivin zusammengesetzten Einschlüsse Gegenstand vielseitiger Untersuchungen und verschiedenartiger Deutung ihres Ursprungs gewesen. Wenn es unzweifelhaft ist, daß dieselben gewissermaßen als erratische Partien erst durch das Eruptivmagma an die Stelle gebracht wurden, wo sie jetzt angetroffen werden, so könnte ihre Präexistenz auf zweifache Weise erklärt werden: entweder als dem umgebenden Basalt überhaupt ganz fremde, losgerissene Bruchstücke eines anderen unterirdisch anstehenden lherzolithischen Gesteins, eingewickelt und emporgefördert wie gleichfalls die Fragmente von Sandstein und Schiefer (exogene Einschlüsse); oder als integrierende Teile der Basaltmasse selbst, als erste Ausscheidungen aus dem basaltischen Magma (endogene Einschlüsse), gebildet vermutlich in der Tiefe und vor dem eigentlichen Eruptionsakt.

Trotz der vielen und sorgfältigen Studien, welche an den besonders weit verbreiteten olivinreichen Klumpen angestellt wurden — mit Bezug auf die Natur und Mikrostruktur ihrer Gemengteile, auf die Beeinflussungen derselben durch den umgebenden Basalt, auf die umgekehrten Wirkungen usw. — scheint indessen für diese Körper die obige Frage nach dem Ursprung nicht endgültig entschieden zu sein. Nun beherbergen aber bekanntlich die Basalte an gewissen Orten noch eine große Menge verschiedenartiger anderweitiger Einschlüsse, welche mit wenigen Ausnahmen bisher noch nicht in demselben Maße und von ähnlichen Gesichtspunkten aus untersucht worden sind, wie die Olivinknauer, und es ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß auch deren Studium zur Klärung der schwebenden Fragen, insonderheit über die Existenz und Natur von solchen Urausscheidungen, einen Beitrag liefern könnte.

Einen außergewöhnlichen Reichtum an Einschlüssen aller Art weist der Basalt des kleinen Finkenbergs bei Bonn auf. Wer

Digitized by Google

auf dem „Alten Zoll“ neben Ernst Moritz Arndts Denkmal steht und den Blick über den herrlichen Strom schweifen läßt, der hat, während rechts die Obercasseler Ley, das Siebengebirge und der Godesberg sich hervorheben, gerade gegenüber auf dem östlichen Rheinufer eine flache, durch Steinbruchsbetrieb jetzt fast zur Hälfte abgetragene Kuppe vor sich, den von ausgedehnten Schutthalden umgebenen Finkenberg bei dem Dörfchen Limperich, dahinter den höheren Rücken des Ennert. Zwei Bewohner Bonns, die Herren gew. Apotheker OTTO BECKER und Kaufmann WILHELM KLEUTGEN haben ihren regen Sammeleifer an dieser fast unerschöpflichen Fundgrube merkwürdiger und lehrreicher Einschlüsse geübt[1]), und ihre ausgedehnten, auch auf benachbarte Basalte sich beziehenden Kollektionen boten die erste Anregung zu den nachfolgenden Untersuchungen, in welche allmählig noch immer weitere rheinische Basaltvorkommnisse mit ihren Einschlüssen hereingezogen wurden. Einen Teil des Materials vom Finkenberg konnte ich unter Beihülfe des kundigen Betriebsführers, Herrn JOSEPH BRENNER selbst den dortigen Brüchen entnehmen.

Die Einschlüsse des Finkenbergs sind in mehrfacher Hinsicht bemerkenswerter als die aller übrigen rheinischen Basalte: erstlich wegen der besonders großen Menge von Mineralien, die sich an ihnen beteiligen und in buntem aber doch geregeltem Wechsel zu Kombinationen zusammentreten, welche zum großen Teil in der eigentlichen Gesteinswelt gänzlich unbekannt sind, auch chemisch bezüglich des Grades der Acidität sowie der Natur der Basen die größten Gegensätze unter einander und zur Basaltmasse offenbaren. Zweitens weil die verschiedenen Richtungen, welche diese chemischen Kontraste bei den einzelnen Einschlüssen einschlagen, sich aber in ihren charakteristischen Zügen gegenseitig wieder vielfach ausgleichen und aufheben, so daß gewissermaßen das Dasein einer Art von Einschlüssen dasjenige einer anderen Art bedingt; die chemischen Stoffe, die der eine Einschluß im Maximum und Minimum darbietet, sind in einem anderen gerade umgekehrt im Minimum und Maximum vorhanden. Drittens sodann

1) Manche makroskopische Beobachtungen hat Herr BECKER in einer kleinen Schrift „Die Eruptivgesteine des Niederrheins und die darin enthaltenen Einschlüsse; Bonn, Verlag von Friedr. Cohen, 1902“ mitgeteilt. Einer mikroskopischen Untersuchung legt aber der Verf. auffallender Weise kein Gewicht bei, indem er sich durch dieselbe keine Förderung der Erkenntnis verspricht.

Digitized by Google

wegen der hier vor allem auftretenden Umrindungen eines zentralen Mineralaggregats durch ein ganz abweichend beschaffenes peripherisches Gemenge, welches aber auch für sich wieder selbständige Einschlüsse bildet, Erscheinungen, welche genetisch von hohem Belang sind. Dazu gesellt sich viertens bei manchen Vorkommnissen ein eigentümlich gegliederter innerer Aufbau aus zonenweise verschiedenen Mineralien, wodurch eine solche umhüllte Partie den Charakter gleichsam eines selbständigen Individuums gewinnt. Abgesehen von der ungeheuren Menge von Einschlüssen ist auch am Finkenberg das unmittelbare Nebeneinandervorkommen von möglichst verschieden zusammengesetzten in ungewöhnlicher Weise zu beobachten; so sieht man z. B. hier einen Olivinknollen nur 1 cm entfernt von einem Quarzfeldspat-Aggregat oder einer Partie reinen Quarzes, dort einen grünen Olivinknollen, einen braunen Glimmereinschluß und eine violette Sillimanitpartie, alle scharf begrenzt fast unmittelbar benachbart. Mag man die Fragmente für exogen oder für endogen halten, immer wird man für sie ganz außerordentlich energische Ortsveränderungen anerkennen müssen.

Das Gestein des Finkenbergs ist ein ganz normaler, fein und etwas fluidal struierter Plagioklasbasalt, in dem der Olivin die größten Dimensionen gewinnt, frei von Nephelin, Leucit, Melilith, mit örtlich spärlichem Biotit, Titaneisen und nur spurenhafter ganz heller Glasbasis. Als sekundäre Mineralien treten darin auf: Rhomboëdrische Carbonate, bald mehr dem Kalkspat, bald mehr dem Eisenspat genähert; sie erfüllen besondere Hohlräume, sitzen gern auf der Grenze zwischen den Einschlüssen und dem Basalt und ziehen sich als feine Adern in erstere hinein. Die zartfaserigen warzigen Partien liefern im Zentrum geschnitten, außerordentlich schöne Kreuze im parallelen polarisierten Licht. Aragonit ist bedeutend seltener. Opal, vielfach schmutzig grünlich gelb, erscheint als Nester oder als Absatz zwischen Einschlüssen und Basalt. Wasserhelle zierliche Baryttäfelchen auf Klüften wurden zuerst erwähnt durch Vom Rath[1]), später durch Otto Becker häufig gesammelt; letzterer entdeckte auch spärliche Gipskriställchen. Auf dem warzigen eisenhaltigen Carbonat, welches Quarzeinschlüsse

1) Sitzungsber. Niederrhein. Ges. zu Bonn 1880. 101; Zeitschr. für Krystallographie V. 1881. 256.

Digitized by Google

umsäumt, sitzen ganz seltene kleine Pyritwürfelchen. Unter den Zeolithen auf Hohlräumen waltet Phillipsit vor.

Wo die Einschlüsse von Basaltadern durchzogen sind, welche sich aus der umgebenden Masse in dieselben hinein erstrecken, ist im folgenden ein Unterschied gemacht zwischen basaltischen Adern, wenn ihre Substanz vorwiegend übereinstimmend normaler Basalt ist, und basaltoidischen Adern, wenn deren Masse, trotzdem sie unzweifelhaft mit dem Gesteinsbasalt zusammenhängt und davon ausgeht, doch in Folge ihrer Entfernung von dem Hauptkörper, wegen ihrer Ablagerung auf schmalen Interstitien und wohl auch auf Grund von Beeinflussung durch die Einschlußsubstanz sich in Struktur und Mineralgehalt mehr oder weniger von dem Gesteinsbasalt unterscheidet.

Viele Einschlüsse des Finkenbergs sind von ehemaligen Kontraktionsrissen, jetzt mit Carbonat (und Opal) ausgefüllt, an ihrer Peripherie umzogen (J. Lehmann 13); sie verlaufen, bald breiter, bald nur von fast mikroskopischer Schmalheit, manchmal gerade genau auf der Grenze zwischen Basalt und Einschluß, der so gewissermaßen aus dem Gestein herausgeschält erscheint. Doch nehmen sie auch in sehr vielen Fällen nicht überall diese Stelle ein, sondern ziehen sich, den Umrissen des Einschlusses annähernd konform, ganz nahe der Grenze innerhalb des Basalts einher, so daß eine Partie des letzteren noch an dem Einschluß haftet. Ja es kommt auch vor, daß die Kontraktionsspalte ganz nahe der Basaltgrenze streckenweise durch den Einschluß selbst verläuft, wobei dann ein Teil desselben direkt mit dem Basalt zusammenhängt. An einem und demselben Einschluß kann man alle drei Fälle neben einander u. d. M. beobachten. Auffallend ist, daß diese Kontraktionsrisse sich um gewisse Einschlüsse, z. B. glimmerhaltige Olivinknollen, Sillimanitpartien mit größter Konstanz finden, um andere, z. B. normale Olivinknollen, Aggregate von Feldspath und Quarz, Sapphir, Zirkon regelmäßig vermißt werden.

Nachstehend sind die Arbeiten erwähnt, auf die im folgenden — unter bloßer Nennung des Autornamens und der Seitenzahl — am häufigsten Bezug genommen wird; anderweitige Litteratur ist besonders zitiert.

Max Bauer, Der Basalt vom Stempel bei Marburg und einige Einschlüsse desselben; N. Jahrb. f. Mineralogie usw. 1891. II. 156—205 und 231—271.

Digitized by Google

Arthur Becker, Über die Olivinknollen im Basalt; Zeitschr. d. deutschen geolog. Ges. XXXIII. 1881. 31—66; auch Leipziger Inauguraldissertation.

Otto Becker, Die Eruptivgesteine des Niederrheins und die darin enthaltenen Einschlüsse. Bonn 1902.

K. Bleibtreu, Beiträge zur Kenntnis der Einschlüsse in den Basalten mit besonderer Berücksichtigung der Olivinfels-Einschlüsse; Zeitschr. d. deutschen geolog. Ges. XXXV. 1883. 489—556.

A. Dannenberg, Studien an Einschlüssen in den vulkanischen Gesteinen des Siebengebirgs; Mineralog. u. petrograph. Mitteil. XIV. 1894. 17—84.

H. von Dechen, Geognostischer Führer in das Siebengebirge am Rhein. Bonn 1861.

A. Lacroix, Les enclaves des roches volcaniques; Macon 1893.

H. Laspeyres, Das Siebengebirge am Rhein; Bonn 1901 (Verh. naturh. Ver. pr. Rheinl., W. usw. 1900).

J. Lehmann, Untersuchungen über die Einwirkung eines feuerflüssigen basaltischen Magmas auf Gesteins- und Mineraleinschlüsse, angestellt an Laven und Basalten des Niederrheins; Verh. naturh. Ver. pr. Rheinl. u. Westf. 1874. 1—41.

F. Rinne, Der Basalt des Hohenbergs bei Bühne in Westfalen. Sitzungsber. Berliner Akad. 1891. 19. November.

F. Rinne, Über norddeutsche Basalte aus dem Gebiete der Weser und den angrenzenden Gebieten der Werra und Fulda. Erste Abhandl. (im folg. als I. bezeichnet), Jahrb. d. kgl. preuß. geol. Landesanst. für 1892. 1—95. — Zweite Abh. (als II bezeichnet), ebendas. für 1897. 1—102.

W. Schottler, Der Ettringer Bellerberg, N. Jahrb. f. Mineral. XI. Beilageb. 1897/8. 554—621.

Folgendes ist eine Übersicht über die Einschlüsse, welche zur Untersuchung ihrer Beschaffenheit und Bildungsweise gelangt sind, und an deren Zusammensetzung sich im Ganzen 23 primäre Mineralien beteiligen; die unzweifelhaft exogenen sind nicht spezieller erörtert.

Normale Olivinknollen;

Glimmerhaltige enstatitfreie Olivinknollen, auch ohne Diopsid;

Hornblendehaltige Augit-Olivinmassen;

Olivinhaltige Enstatit-Diopsidmassen;

Digitized by Google

Ungewöhnlich picotitreiche Olivinknollen;
Reine Augiteinschlüsse oder mit etwas Enstatit oder Glimmer;
Magnetkiesreiche Augitmassen;
Augiteinschlüsse, reich an Titanit und Apatit, auch mit Orthit;
Granathaltige Feldspat-Augitmassen;
Enstatitführende Diopsidaggregate;
Reine Enstatitmassen oder solche mit Gehalt an Diopsid, dunklem Augit, Picotit;
Hornblendeaggregate, auch mit Magnetkies, Apatit;
Partien von normalem oder verändertem Biotit;
Glimmermassen mit Olivin oder Diopsid oder schwarzem Augit oder Picotit, auch mit Sillimanit, Zirkon, Magnetit;
Granataggregate, augitführend, meist mit Orthit;
Aggregate von Granat mit Wollastonit, auch Augit;
Wollastonitaggregate;
Zirkon;
Sapphir;
Sillimanitaggregate, rein oder mit Zirkon, Sapphir, Spinell;
Reine Feldspataggregate;
Feldspatmassen mit Gehalt an Sapphir, Zirkon, Sillimanit;
Feldspatmassen mit Augit und Hornblende;
Quarzfeldspat-Aggregate, rein;
Quarzfeldspat-Aggregate mit Gehalt an Augit, Olivin, Zirkon, Sapphir, Sillimanit;
Quarzpartien, auch mit Sillimanitbüscheln, Magnetkies;
Picotitmassen;
Apatit;
Magnetkies;
Gemenge von Magnetkies sowohl mit Quarz als mit Feldspat;
Graphithaltiger Magnetkies;
Titanhaltiges Magneteisen;
Graphit.

Olivinknollen.

Indem die Olivinknollen für die Basalte die charakteristischsten und darin verbreitetsten Einschlüsse sind, scheint es angemessen, sie zunächst ins Auge zu fassen. Die Ergebnisse über ihre Natur werden auch die beste Grundlage für die Betrachtung der genetischen Verhältnisse anderer Einschlüsse darbieten.

Digitized by Google

Diejenigen Einschlüsse, in denen der Olivin vorwaltet, stellen wohl zum größten Teil das bekannte Aggregat dar, an welchem sich außerdem grüner monokliner Pyroxen (Diopsid, Chromdiopsid) rhombischer Pyroxen (Enstatit, Bronzit) und Picotit beteiligt. Gerade diese Massen sind besonders Gegenstand früherer mikroskopischer Untersuchungen gewesen, wobei die Struktur der Gemengteile, ihre Automorphie oder Xenomorphie, ihr Gehalt an Poren, glasigen und flüssigen Interpositionen, namentlich auch ihr Verändertsein durch den Einfluß des basaltischen Magmas, die etwaigen Neubildungen usw. in Betracht gezogen wurden. Diesen zahlreichen Angaben möchte ich nur weniges aus meinen eigenen vielfachen Wahrnehmungen hinzufügen, weil, wie es nach den bisherigen Erfahrungen scheint, Beobachtungen auf diesen Gebieten die Frage nach der Herkunft der Olivinknollen doch nicht mit Gewißheit zu lösen vermögen, auch insofern, als das Magma auf eine darin befindliche verfestigte Urausscheidung in ähnlicher Weise einwirken wird, wie auf ein fremdes lherzolithisches Bruchstück.

Da es sich für die Herkunft der Olivinknollen nur um eine einzige Alternative handelt, so fällt das, was der einen Auffassung Schwierigkeiten bereitet, mittelbar zu Gunsten der entgegengesetzten ins Gewicht. Werden die Argumente, welche bisher für die Natur derselben als fremde exogene Fragmente und damit indirekt gegen die Natur als Urausscheidungen zu sprechen scheinen, zusammengefasst, so sind dies namentlich folgende:

1. Die überraschende allgemeine Ähnlichkeit vieler Olivinknollen mit der Mineralkombination des Lherzoliths, wobei auch die formelle und strukturelle Ausbildung der Mineralien beiderseits in den Hauptzügen übereinstimmt.

2. Die Abweichung im Mineralgehalt, welche, abgesehen von der Olivinführung, gegenüber den basaltischen Gemengteilen besteht; dies Argument besitzt nur unter der wohl nicht richtigen Voraussetzung Gewicht, daß an den Urausscheidungen sich blos Mineralien, wenn auch in besonderer Auswahl und in anderen Quantitätsverhältnissen beteiligen können, welche zugleich als Gemengteile des Gesteins vorhanden sind, wobei als Beispiele auf die dunklen Schlieren in den Graniten, auf die zweifellosen Primärausscheidungen in den Basalten von Oberwiesenthal und vom Podhorn hingewiesen wird. Den knollenführenden Basalten fehle aber der

Digitized by Google

rhombische Pyroxen, der Picotit, der selbständige grüne Diopsid, den Knollen der basaltische Feldspat. Von Bleibtreu (521) wurde auch hervorgehoben, daß die Olivine der Knollen und diejenigen des Basalts in ihrer Mikrostruktur und in ihren Interpositionen nicht völlig identisch seien; erstere besäßen z. B. Einschlüsse von Flüssigkeit viel reichlicher, solche von Picotitkriställchen viel spärlicher. A. Becker aber möchte (39) keine durchgreifende Verschiedenheit anerkennen, da auch die mehrfach am Saume der Knollenolivine vorkommenden großen und reichlichen Glaseinschlüsse sekundärer Entstehung sein könnten, wie dies gleichfalls Bleibtreu zugibt.

3. Die Schieferigkeit einiger Knollen, welche zwar bei den Olivingesteinen der kristallinischen Schiefer, nicht aber beim Lherzolith vorkomme. Auch seien bisweilige Knickungen und Biegungen der Enstatite nur auf Druckwirkungen zurückzuführen, welche eine anstehende zusammenhängende Gesteinslagerstätte erlitten habe, nicht auf mechanische Bearbeitung der Knollen durch das Basaltmagma; letzterem solche Beeinflussung abzusprechen erscheint jedoch nicht gerechtfertigt.

4. Die Gegenwart kleiner Olivinfelseinschlüsse, auch im Phonolith des Heldburger Schloßbergs.

5. Das örtliche Beschränktsein der Knollen auf gewisse Basalte, z. B. die Tatsache, daß sie in denen des Siebengebirges so weit verbreitet sind, in den sonst ganz analogen der gegenüberliegenden Eifel sozusagen ganz vermißt werden[1]); allerdings eine auffallende Erscheinung, wenn die Ausscheidung der Knollen eine Phase in der magmatischen Entwickelung bezeichnet.

Andererseits gelten als Momente, welche sich gegen den Charakter als fremde lherzolithische Einschlüsse und somit indirekt zu Gunsten der Ausscheidungsnatur als verwertbar erweisen, folgende:

1. Gewisse Abweichungen von der Beschaffenheit der lherzolithischen Gemengteile, nämlich: a) die reichlichen Flüssigkeitseinschlüsse in den Knollen- Olivinen und -Bronziten, im Gegensatz zum Lherzolith, worauf auch M. Bauer Gewicht legt (200); wenn freilich auch die basaltischen Olivine selbst sehr arm an liquiden

1) Karl Vogelsang, Zeitschr. d. geol. Ges. XLII. 1890. 56; s. auch F. Z., Lehrbuch der Petrographie II. 1894. 940.

Einschlüssen seien, so komme dies daher, daß sie erst später aus wasserärmer gewordenem Magma festgeworden. Daß die Gemengteile der Olivinknollen häufig als reich an Glaseinschlüssen befunden werden, z. B. die Olivine, grünen Diopside, während die Lherzolithgemengteile stets davon frei sind, dies ist von den Anhängern des exogenen Ursprungs schon früh durch die sekundäre Natur solcher Interpositionen erklärt worden. — b) Das gelegentliche Auftreten von automorphen Olivinen und Bronziten in den Knollen, wie es im Lherzolith nicht vorkommt. M. Bauer (191) hebt dies hervor, es wurde auch von Proft, nicht aber von Rinne beobachtet. — c) Das bisweilige Vertretensein des Chromdiopsids der Knollen durch große braune zonare Augite, den basaltischen ähnlich, wie sie dem Lherzolith nicht eigen sind (betont von M. Bauer (200) für Knollen aus dem Basalt des Stauffenbergs, auch von Rinne). — d) Das mitunter beobachtete Vorkommen von Biotit in den Olivinknollen, der dem Lherzolith fremd ist.

2. Das hin und wieder vorhandene lockerkörnige, ja etwas poröse Gefüge der Knollen, im Gegensatz zu dem stets kompakten Lherzolith.

3. Die große Verschiedenheit der einzelnen Knollen, auch in einem und demselben Basaltvorkommen, hinsichtlich der Korngröße und des Mineralbestandes. Rinne verwertet dieses Verhalten z. B. am Hohenberg bei Bühne „gegen die Einordnung derselben zu einem bestimmten Gestein“ (II. 75).

4. Das Beschränktsein der Olivinknollen auf Basalte und auf wenige Vorkommnisse der eng verwandten Melaphyre. Damit hängt zusammen:

5. Die Notwendigkeit der unwahrscheinlichen Annahme einer außerordentlich weiten unterirdischen Verbreitung der lherzolithischen Gesteine und zwar gerade unterhalb der basaltischen Eruptionen.

Obschon die Angaben über die Neubildungen, welche aus den Gemengteilen der Olivinknollen in der Berührung mit dem basaltischen Magma hervorgegangen sind, für die Frage nach der Herkunft der Knollen keinen besonderen Belang besitzen, mögen sie mit ihren vielfachen Abweichungen untereinander hier zusammengestellt werden, um einige Bemerkungen daran zu knüpfen.

Die Olivinkörner erleiden nach Bleibtreu häufig eine Abschmelzung der Ränder, auch findet eine Neuausscheidung des

Digitized by Google

eingeschmolzenen Materials statt in der Form picotitreicher regelmäßig begrenzter Olivinkriställchen (535). Rinne beschreibt (I. 26) in ähnlicher Weise um Olivine einen Hof von Olivinkörnchen, z. T. mit Kristallformen, bisweilen mit Picotitgehalt; mitunter sehe es so aus, als ob sie gerade in der Abschnürung begriffen seien; Rinne will aber hier nicht mit Bleibtreu eine Abschmelzung der Olivinränder durch direkte chemische Einwirkung des Magmas erblicken, sondern — der Gegensatz scheint nicht ganz klar — „ein sekundäres Gebilde, entstanden durch Umkristallisierung des Olivins". Auch nach Lacroix rekristallisiert der Olivin entweder als kleine Kriställchen, welche oft Spinell-Einschlüsse enthalten, oder als abgerundete Körnchen (573). M. Bauer erwähnt dagegen in seiner ausführlichen Beschreibung nichts derartiges und hebt speziell (190) hervor, ein „Angegriffensein" nicht am Olivin beobachtet zu haben. Auch A. Becker hatte die von ihm an Pyroxenen als Angegriffensein bezeichnete Erscheinung nie um Olivine wahrgenommen.

Enstatit (Bronzit); A. Becker hat zuerst auf das „Angegriffensein" der beiden Pyroxene aufmerksam gemacht (43), welches sich „zurückführen läßt auf Entwickelung von Mikrolithen oder Trübung und Bildung von Glaseinschlüssen oder endlich Zerbröckelung". Zufolge Bleibtreu (539) wird der Enstatit eigentümlich getrübt, was vermutlich auf einer Umwandlung in monoklinen Pyroxen beruhe; es ist indessen wohl ganz unwahrscheinlich, daß ein Enstatit, welcher nach Bleibtreus Analyse 32,46 % MgO und nur 1,79 CaO, sodann 7,63 FeO enthält, monoklin umkristallisieren könne. Nach Rinne (I. 27) zeigt der rhombische Pyroxen nicht selten Anzeichen einer randlichen Umwandlung: hin und wieder ergebe sich mit Klarheit, daß dieser Hof aus Olivinkörnern besteht. Was das Spezielle des Vorgangs betrifft, so bemerkt er 1891 für den Basalt des Hohenbergs bei Bühne, daß „die Randsubstanz des Bronzits unter dem Einfluß des Magmas geschmolzen und zum Teil wieder als Olivin auskristallisiert sei (der Rest erstarrte zu Glas)"; später (1893) ist nur von einer „Umwandlung" des einen Minerals in das andere die Rede. M. Bauer bestätigte das „Angegriffensein" der Bronzite; es bestehe in der Entwickelung eines randlichen, nach außen und innen scharf begrenzten und lebhaft aggregatpolarisierenden Haufwerks kleiner Körnchen desselben Minerals, ohne glasiges Cäment

Digitized by Google

(190); von einer Neubildung des Olivins wird nichts erwähnt. Lacroix (503) befand den Enstatit von Olivinknollen auf Rändern und Sprüngen in warzigen und wurmförmigen monoklinen Pyroxen umgewandelt, welcher wohl, an Kelyphit erinnernd, den ganzen Enstatit verdrängt. In Olivinknollen von Espedaro im Vicentinischen sei der Enstatit nicht nur an den Rändern, sondern auch längs der Sprünge „en effet fondu," und Augit mit etwas Olivin sei herauskristallisiert (512). Andererseits gehe aus Hypersthen durch randliche Schmelzung desselben ein Gemenge von Augit, grünem Spinell, Magnetit und glasigem Rückstand hervor (573). Enstatit der Olivinbomben von Tareyre bei Le Puy habe sich an seinen Rändern in ein farbloses rhombisches, wohl zur Epidot-Zoisitgruppe gehöriges Mineral verändert (506).

Diopsid; Bleibtreu hebt hervor, daß der Chromdiopsid abgeschmolzen werde und mit rötlicher Farbe wieder herauskristallisiere. Sodann werde er umgewandelt in Komplexe parallel gerichteter lichtgrüner kleiner Augitkriställchen, zwischen denen Reihen kleiner bräunlicher Picotitoktaëderchen und Biotitblättchen liegen (531). Rinne gibt an, daß der monokline Augit, das empfindlichste Mineral der Olivinknollen, abgesehen von seiner Ausstattung mit sekundären Glaseinschlüssen an der Basaltgrenze mit rötlichbrauner Farbe weitergewachsen und daß er ferner in ein Aggregat von Augitkörnchen, Picotit, bisweilen mit Olivinpartikelchen umgewandelt sei (I. 27), letzteres also ähnlich wie Bleibtreu. M. Bauer erwähnt derartige Erscheinungen nicht, er weiß von den Chromdiopsiden auch nur über ein Angegriffensein, d. h. über die Entstehung eines randlichen Aggregats von kleinen Körnchen derselben Mineralart zu berichten (190).

Wenn nach dem Vorstehenden M. Bauer nur äußerst wenig über solche Neubildungen anzuführen vermag, so muß ich mich in dieser Hinsicht ganz auf seine Seite stellen; in meinem Material habe ich an den Pyroxenen auch selbst das bloße randliche Angegriffensein nur selten und in geringen Spuren, eine Rekristallisierung der Olivine überhaupt nicht beobachtet.

Von den neueren Forschern hält Rinne (II. 75) in den von ihm untersuchten Fällen die Olivinknollen für Ausscheidungen: man müsse aber von Fall zu Fall unterscheiden, da das Auftreten von Lherzolithfragmenten nicht ausgeschlossen sei. M. Bauer resumiert in ähnlich objektiver Weise, daß seine Beobachtungen der

Digitized by Google

Annahme, dieselben seien eingeschlossene Lherzolithbruchstücke, „nicht günstig“ sind. Die genetische Frage werde wahrscheinlich noch lange die Petrographen beschäftigen, jedenfalls sollte sie aber nicht ganz generell behandelt werden, da das in dem einen Falle erhaltene Resultat noch nicht den Schluß gestatte, daß sich die Sache in anderen Fällen genau ebenso verhält. Sollten auch in Olivinknollen Ausscheidungen anerkannt werden müssen, so bleibe daneben doch immer noch die Möglichkeit, ja Wahrscheinlichkeit bestehen, daß sie „an einzelnen Lokalitäten“ Lherzolithbruchstücke darstellen. Ist auch eine derartige Reserve theoretisch ganz gerechtfertigt, so möchte ich sie doch für die tatsächliche Auffassung nicht so weit ausdehnen: die Objekte sind so ähnlich und hängen so innig zusammen, daß man sie in ihrer großen Masse wohl nur entweder für das eine oder für das andere wird halten können.

Dannenberg erachtet (19) trotz aller Diskussionen die Frage nach dem Ursprung der Olivinmassen noch für strittig; vielleicht werde man in dem einschlußartigen Vorkommen verwandter augitischer Gesteine ein Argument für die Auffassung auch der Olivinknollen als „Einschlüsse“ erblicken können.[1]) Für Laspeyres gelten dagegen von jeher diese Fremdkörper als Konkretionen. Ich selbst hielt 1894 dafür, daß sich aus der Abwägung der unterstützenden und widerstreitenden Momente ergebe, es sei keine von beiden einander gegenüberstehenden Ansichten einwandfrei, und eine definitive Entscheidung könne zur Zeit weder zu Gunsten der einen noch der anderen getroffen werden. Höchstens dürfte man vielleicht sagen, daß die Zurückführung auf Lherzolith ein minderes Bedenken in sich berge als die Ausscheidungstheorie. (Lehrb. d. Petrogr. II. 935).

Wie die Dinge jetzt nach vielfachen neuen Studien und Erfahrungen an früher unbekannten Materialien liegen, möchte ich jene letztere Meinung in ihr Gegenteil umkehren. Eine große

1) Dannenberg vermißt (19) einen Ausdruck, der die fremden Fragmente und die primären Ausscheidungen zugleich deckt und scheint das Wort „Einschluß“ für die ersteren Massen reservieren zu wollen, wodurch mitunter der Sinn seiner Ausführungen an Klarheit verliert. Einschlüsse, an der Stelle, wo sie jetzt liegen, sind aber beide genetisch abweichenden Kategorien, wie dies auch Sauer durch die sehr glückliche Unterscheidung von exogenen und endogenen „Einschlüssen“ anerkennt, und gleichfalls Lacroix unter „Enclaves“ sowohl seine enallogenen als homöogenen zusammenfaßt.

Digitized by Google

Menge von Wahrnehmungen vereinigt sich zu dem Schluß, daß die Olivinknollen in den rheinischen Basalten aller Wahrscheinlichkeit nach mit unterirdisch anstehendem Lherzolith genetisch nichts zu tun haben, nur eine teilweise Kopie desselben darstellen und mit zu den Urausscheidungen des basaltischen Magmas zu rechnen sind.

Lacroix begreift die Olivinknollen unter seinen Enclaves homoeogènes, den endogenen Einschlüssen.[1]) Er betrachtet dieselben als das Resultat einer Differenzierung, welche in der Tiefe innerhalb eines basischer, als es der Basalt selbst war, beschaffenen Magmas stattgefunden und örtlich ein festes Gestein geliefert hat, unterhalb dessen sich das noch nicht verfestigte Magma befand. Später durchbrach dieses in größerer Tiefe lagernde und deshalb höher temperierte Magma seine peridotische lherzolithähnliche Kruste und brachte, indem es sich als Basalt ergoß, die modifizierten Fragmente derselben an die Oberfläche (490. 645). Diese Auffassung entferne sich doch beträchtlich von derjenigen, welche sonst mit der Deutung der Olivinknollen als endogene Einschlüsse verknüpft werde. Denn bei letzterer „Segregationstheorie", welche in den Knollen „konkretionäre Schlieren" erblicke, handle es sich darum, daß in der Tiefe Zusammenballungen von Ausscheidungen entstehen, die im Magma schwimmen, während Lacroix selbst die Bildung eines wirklichen festen unterirdischen Gesteins aus einer schon differenzierten Magmapartie annehme.

1) Lacroix sondert in seinem ausgezeichneten Werke die Enclaves in enallogene („des roches sans rapport de composition minéralogique ni d'origine avec la roche englobante") und homöogene („des associations minérales très-cristallines, qui présentent avec la roche volcanique une plus ou moins grande analogie, de composition minéralogique et d'origine".) Diese Definitionen decken sich zwar im allgemeinen mit dem Gegensatz von exogen und endogen, scheinen aber die Voraussetzung einzuschließen, daß der Mangel der mineralogischen Analogie mit einer genetischen Verschiedenheit, die mineralogische Ähnlichkeit aber mit einer genetischen Zugehörigkeit verknüpft sei, was indessen nicht zugestanden werden kann und richtige Zuweisungen erschwert. Es läßt sich sehr wohl denken, daß ein mineralisch ganz abweichender Einschluß dennoch als eine endogene Ausscheidung aufgefaßt werden muß; auf ihn würde aber weder die Definition einer enallogenen noch die einer homöogenen Enklave genau passen. Und umgekehrt wird bei jener Scheidung der Fall nicht berücksichtigt, daß ein Eruptivgestein losgerissene Fragmente eines mineralisch sehr ähnlichen enthält, die doch genetisch ganz fremden Ursprungs sind und nichts mit seiner eigenen Festwerdung zu tun haben. Die nach obigen Gesichtspunkten vorgenommene Auseinanderhaltung hat im Text des klassischen Werkes hin und wieder Unklarheiten im Gefolge.

Digitized by Google

Eine bemerkenswert frühe Hinweisung auf eine stattgefundene Differenzierung finden wir in des Paters L. DRESSEL, S. J. Schrift: „Die Basaltbildung in ihren einzelnen Umständen erläutert“[1]) aus dem J. 1866: „Was die körnigen Olivinaggregate (im Basalt) betrifft, so gebe ich gern zu, daß sie von größeren zusammenhängenden Olivinmassen losgetrennte Stücke sind, möchte jedoch auch hier bezüglich der Natur der durchbrochenen Olivinmassen den gewöhnlichen Ansichten nicht ganz beipflichten. Diese halte ich nämlich nicht für Gesteinslager innerhalb unserer bekannten Erdkruste (z. B. für Olivinfels oder gar für metamorphische Gesteine) sondern für Ausscheidungs- und Spaltungsprodukte des flüssigen Erdinnern, welchem das Basaltmagma selbst entstieg; für Mineralmassen, welche im Innern der Erde selbst zur festen Ausbildung gelangten und mehr oder weniger schichtenweise die innere Erdwölbung auskleiden“ (5. 51.). Man sieht, wie nahe LACROIX an seinen Vorläufer, den Laacher Ordensgeistlichen, herankommt, der auch schon vor 36 Jahren den jetzt hochmodern klingenden Ausdruck Differenzierung des Magmas (S. 170) anwendet.

Nun scheint aber zwischen der LACROIXschen Annahme eines festen zusammenhängenden Spaltungsgesteins und der von ihm angeführten und abgelehnten Schlierentheorie kein so erheblicher Unterschied zu bestehen. Er beruht doch nur darin, daß die Olivinmassen nach der ersteren eine auf einen bestimmten Ort beschränkte Bildung im Großen sind, nach der letzteren eine an zahlreichen Stellen zustande gekommene Bildung im kleineren Maßstabe, wenn auch die ungeheure Menge der Brocken z. B. im Finkenberg und ihre Splittergestalt die Vermutung nahe legen, daß einstmals umfangreichere Massen davon in dem Magma existiert haben.

Wenn LACROIX glaubt, es zurückweisen zu müssen, daß die Olivinmassen „konkretionäre Schlieren“ seien, entstanden durch Anhäufungen und Zusammenballungen frühzeitig ausgeschiedener Gemengteile („agrégat oder réunion· de grands cristaux du stade intratellurique flottante dans le magma“), so dürfte er darin ganz recht haben; es fragt sich nur, ob dies wirklich die Meinung derjenigen ist, denen er mit seiner Theorie entgegentreten will.

1) Von der holl. Ges. d. Wissensch. zu Haarlem gekrönte Preisschrift. Haarlem 1866.

Digitized by Google

Es ist viel wahrscheinlicher, daß es sich bei den Olivinmassen um „Konstitutionsschlieren" handelt[1]), um Aggregate, welche einer durch Differenzierung entstandenen anfänglichen ungleichen Magmamischung ihre Entstehung verdanken. Es ist auch die Ansicht von M. Bauer, daß, wenn die Olivinknollen sich aus dem Basaltmagma ausgeschieden haben, dies nur aus schlierenartigen Partien desselben mit einer von der Hauptmasse etwas abweichenden Zusammensetzung und zwar mit einem größeren Gehalt an MgO geschehen konnte (202). — Handelte es sich um konkretionäre Schlieren (wozu die dunklen Partien in den Graniten, reich an schwarzen Bisilikaten, basischen Plagioklasen, Erzen, Titanit, Apatit, Zirkon, arm an oder frei von Quarz und Orthoklas ein Beispiel geben), so würden dieselben wohl überhaupt einen anderen Anblick gewähren, als ihn die Olivinmassen darbieten und vermutlich immer mehr oder weniger nur von einerlei monotoner Art sein müssen. Daß auch andere Aggregate als solche konkretionäre Schlieren betrachtet werden könnten, wäre dann sozusagen ausgeschlossen. Bei der Annahme von Konstitutionsschlieren kann aber auf Grund der abweichenden chemischen Zusammensetzung derselben auch noch eine Menge anderer „Einschlüsse" als Urausscheidungen gelten, indem gerade solche Schlieren — nicht die konkretionären — auch das Dasein von ihren chemischen Gegensätzen erfordern. Diese Schlierenbildung paßt nebenbei besser für das Dasein hier von reichlichen, dort von nur wenigen Knollen; Lacroix, welcher das peridotische Spaltungsprodukt doch nur in größeren Massen entstehen lassen kann, vermag eigentlich eine blos ganz spärliche Knollenmenge kaum gut zu erklären, wenn nicht bedeutende Resorptionen vorausgesetzt werden. Nicht ganz im Einklang mit Lacroixs Annahme, daß die Olivinkruste sich oberhalb des Basaltmagmas gebildet habe, steht das spezifische Gewicht der verfestigten Massen, welches bei den ersteren schwereren etwas über 3, bei den letzteren etwas unter 3 liegt.

Bei einer weiteren Verfolgung der Frage scheint eine besondere Bedeutung der sich aus vielen neuen Funden ergebenden Tatsache zuzukommen, daß in diesen sonst lherzolithähnlichen Einschlüssen der Biotit eine erheblich größere Rolle spielt, als

1) F. Z., Lehrb. d. Petrographie I. 1893. 789.

man bisher annahm, sowohl in der ganz normalen blättrigen Ausbildungsweise, als in der später zu erwähnenden mehr dichten und matten Abart. Zwar hat schon Bleibtreu braunen Glimmer in den Olivinknauern vom Finkenberg, Rinne kleine gelbrote Glimmerblättchen in Knollen des Nephelinbasalts vom Bärenberg bei Zierenberg wahrgenommen, Proft über den Biotitgehalt der Knollen in den Tuffen des böhmischen Eisenbühls berichtet, aber es schienen dies alles ganz seltene Ausnahmen zu sein. Am Finkenberg z. B. ist indessen die Gegenwart des Biotits in den sonst noch lherzolithähnlichen Knollen, wie man jetzt weiß, etwas recht Gewöhnliches. Eine eigentümliche immer bestätigte Erfahrung ist es, daß die glimmerfreien Olivinmassen direkt im Basalt sitzen, die glimmerhaltigen durch eine schmale Kalkspatzone davon getrennt sind: wo man in den Brüchen schon aus einiger Entfernung den schneeweißen Rand um die dunkelgrüne Olivinmasse umherlaufen sah, da führt die letztere Glimmer; wo jener fehlte, wird nach diesem Gemengteil auch u. d. M. vergeblich gesucht. Übrigens schließen sich in den Olivinknollen in der Regel Glimmer und Enstatit gegenseitig aus, wie auch schon Bleibtreu andeutet (515); gleichfalls fehlt in den von Proft untersuchten Knollen des Eisenbühls neben dem Glimmergehalt der rhombische Pyroxen. Die Ansicht von Bleibtreu jedoch, daß der Glimmer in diesen für exogen gehaltenen Knollen sekundärer Natur sei, kann ich nicht teilen; nach ihm wäre er möglicherweise ein bereits auf der ursprünglichen fremden Lagerstätte der Fragmente entstandenes Umwandlungsprodukt des Diopsids, während andererseits auch die durch das Basaltmagma bewirkte Einschmelzung die Veranlassung zur Glimmerneubildung gegeben haben könnte. Eine solche Vermutung konnte wohl nur geäußert werden, als der Glimmergehalt noch für etwas Ausnahmsweises und Spärliches galt. Nachdem aber jetzt die große Verbreitung des Biotits in den Knollen, der Übergang derselben in solche mit vorwiegendem Glimmer und den übrigen Knollengemengteilen, weiterhin sogar in fast reine Glimmermassen bekannt geworden, ist ihr der Boden entzogen.

Durch den Nachweis der Häufigkeit des Glimmers werden aber diese Knollen dem Lherzolith entfremdet, dem sie sonst mineralogisch äußerst nahe zu stehen schienen. Lacroix erwähnt in der ausführlichen Beschreibung aller pyrenäischen Lherzolithe

Digitized by Google

den Biotit mit keinem Wort.[1]) In ähnlicher Weise paßt auch der seither in manchen Knollen beobachtete Apatit nicht in den Rahmen des Lherzoliths; er bildet kleine derbe Schmitzen und Partien und wird schon von Bleibtreu in zwei Fällen erwähnt (515). — In einem aus Olivin und Augit gemengten Einschluß vom Finkenberg liegt ein 2,5 cm langer blaßgrünlicher Feldspat, dessen ungestreifte Spaltungsstückchen, in verschiedener Lage optisch untersucht, allen Anforderungen eines Orthoklases entsprachen.

Wendet sich das eben Angeführte gegen einen Zusammenhang der Olivinknollen mit anstehend bekannten lherzolithischen Felsarten, so spricht aber weiterhin dagegen und zu Gunsten der Ausscheidungsnatur der ersteren namentlich noch eine Anzahl von anderen Erscheinungen, die bisher nicht in dieser Weise als örtlich allgemein verbreitet bekannt waren und ins Gewicht fallen konnten. Neben den eigentlichen typischen Olivinknollen mit dem S. 109 angegebenen Mineralgehalt kommen nämlich in rheinischen Basalten, insbesondere im Finkenberg noch sehr zahlreiche andere olivinhaltige Einschlüsse vor, augenscheinlich damit zusammenhängend sowie genetisch untrennbar und doch recht abweichend beschaffen. Man ist in der Tat überrascht über diese mannigfaltigen Kombinationen von Mineralien und über das so ungemein wechselnde Quantitätsverhältniß zwischen denselben, welches sowohl bei den einzelnen Einschlüssen als an verschiedenen Stellen eines und desselben Einschlusses vorliegt. Aus dem ausgedehnten Material, welches zu Gebote stand, seien folgende Punkte als beachtenswert hervorgehoben:

1. Ganz abnorme Strukturverhältnisse einzelner Aggregate, z. B. feinkörnige Olivinknollen mit bohnengroßen Picotiten.

2. Die außerordentlich abwechslungsvolle Beteiligung der mineralischen Komponenten bei den einzelnen Einschlüssen; z. B. Olivin und Glimmer fast zu gleichen Teilen mit nur ganz wenig Diopsid; — Olivinhaltige Glimmermassen ohne weitere Gemengteile; — Einschlüsse, in denen der grasgrüne Diopsid und der blaßbraune Enstatit weitaus vorwalten, Olivin sehr zurücktritt; — Olivinreiche Einschlüsse mit tiefdunkelbrauner, teilweise magmatisch umgewandelter Hornblende und blaßbraunem Augit (Reihenfolge der Festwerdung nach den Umschließungen: Olivin,

1) Bull. des services de la carte géol. de la France, Nr. 42. 1894. 95. 21.

Digitized by Google

Augit, Hornblende); — ungewöhnlich picotitreiche Massen u. s. w. Handelte es sich um exogene Fragmente, so wäre es bei der für den kleinen Finkenberg vorauszusetzenden Schmalheit des Eruptionskanals mehr als verwunderlich, wie so viele Varietäten unterirdisch anstehender Olivingesteine hätten losgebrochen und emporgeführt werden können.

3. Die Erscheinung, daß bei einem und demselben olivinhaltigen Einschluß — und zwar im Einklang mit dessen Konfiguration — ein konstanter Wechsel der Mineralzusammensetzung stattfindet, so daß an der Peripherie dieser oder jener Gemengteil beträchtlich mehr vorwaltet oder andererseits mehr zurücktritt, als es im Innern der Fall, oder daß ein Gemengteil sich dort einstellt, welcher dem Innern überhaupt fremd ist; z. B. ein Einschluß, innen normales Olivinknollen-Material, außen ein Aggregat von fast blos Diopsid mit nur spärlichem Olivin; oder ein handgroßer Einschluß, bestehend innerlich aus Olivin und Glimmer fast zu gleichen Teilen, äußerlich aus Glimmer und Diopsid zu fast gleichen Teilen mit äußerst geringem Olivingehalt. Liegen derartige Einschlüsse in Bruchstücken vor, so bestehen letztere an dem einen Ende aus diesem, an dem anderen Ende aus jenem olivinhaltigen Mineralaggregat. Wenn auch zwischen dem, was gewissermaßen als Kern und dem, was als äußere Zone vorhanden ist, für das bloße Auge oft eine nicht unscharfe Grenze zu verlaufen scheint, so weist doch das Mikroskop einen allmählichen Übergang auf, und indem beide Teile offenbar als Produkt eines fortlaufenden Bildungsaktes zusammengehören, ist es gar nicht möglich, in dem Gebilde einen lherzolithischen Einschluß zu erblicken. Das Angeführte stempelt die so innerlich gegliederten Einschlüsse als sozusagen selbständige Individuen und verbietet sie überhaupt als Fragmente, geschweige denn als exogene zu betrachten. Solche Zusammensetzung eines Einschlusses aus einer inneren nnd einer äußeren Partie mit verschiedenem und doch auch wieder zusammenhängendem Mineralgehalt kommt am Finkenberg sowie am Ölberg auch noch in manchen anderen Variationen vor; sie dürfte sich allenthalben nur durch die Ausscheidungstheorie, durch diese aber auch sehr befriedigend erklären lassen.

Nun werden aber weiterhin die eben erwähnten olivinführenden Einschlüsse in einer Weise, welche eine eigentliche Abtrennung ausschließt, begleitet von anderen olivinfreien, welche gar nur

Digitized by Google

aus einem einzigen der sonst in den Olivinknollen vereinten Mineralien bestehen; so liegen im Finkenberg direkt neben den Olivinknollen genau übereinstimmend gestaltete Aggregate von ganz reinem Enstatit, von ganz reinem Diopsid, von ganz reinem Glimmer, selbst größere Klumpen, die fast lediglich aus Picotit zusammengesetzt sind, und alle diese Einschlüsse, die im Verlauf noch besonders betrachtet werden, haben auch wieder ihre Abarten mit spärlichem Olivingehalt. Von den Gemengteilen der Olivinknollen kommen Olivin, Diopsid, Picotit auch je einzeln in sonst nur aus Glimmer bestehenden Aggregaten vor.

Da jene homogenen Mineralpartien wohl nur als Ausscheidungen gedeutet werden können, so wird man angesichts des innigen Zusammenhangs ebenfalls den normalen Olivinknollen denselben Ursprung zuerkennen müssen. Auch Rinne hat schon die große Mannigfaltigkeit der Zusammensetzung der Knollen an einem und demselben sehr beschränkten Fundpunkt hervorgehoben (I. 19; II. 80), denen doch wieder ein gewisser Zusammenhang in der Mineralführung eigen ist, so daß man all diesen Massen eine gemeinsame Entstehung zuschreiben möchte. „Die Einreihung zu verschiedenen bestimmten, vom Basalt eingeschlossenen Gesteinen scheint mir aber wegen ihrer Mannigfaltigkeit auch bei demselben Vorkommen und wegen ihrer Anklänge und Übergänge zu einander weniger angebracht, als die Annahme ihrer Natur als alte Ausscheidungen.“ Mitunter wird der Konnex auch noch durch die gemeinsame Gegenwart besonderer Gemengteile vor Augen geführt, wie denn z. B. neben einem apatithaltigen Olivinknollen ein Pyroxenknollen liegt, welcher genau denselben fettglänzenden Apatit in ebenso dicken Körnern in sich aufweist (vgl. auch Bleibtreu 515).

Der Finkenberg führt aber an seinen Einschlüssen noch eine andere, genetisch sehr bemerkenswerte Erscheinung vor, auf welche in der Folge noch mehrfach Gewicht zu legen ist: daß ein Mineralaggregat, welches als solches auch selbständige Einschlüsse bildet, um eine ganz fremde innere Masse als auch u. d. M. sehr scharf abgegrenzte äußere Umrindung auftritt; die Grenze entspricht mehr oder weniger den äußeren Konturen des ganzen Einschlusses. Der Kern selbst bietet in diesem Falle keinen sicheren Hinweis auf seinen Ursprung dar, es kann selbstverständlich für sich ebensogut ein exogener als ein endogener Einschluß sein, welcher, in dem Magma präexistierend, eine solche allseitige

Rinden-Anlagerung erfahren hat. Aber die umrindende Substanz gestattet alsdann nur die Erklärung, daß in ihr eine Ausscheidung aus dem Basaltmagma vorliegt. Objekte, welche Schlußfolgerungen nach solcher Richtung hin ermöglichen, scheinen bisher kaum bekannt geworden zu sein. Was nun speziell das normale Olivinknollen-Material in dieser Hinsicht betrifft, so sind mir mehrere Stücke zu Gesicht gekommen, wo rund um eine schwarze Augitpartie von einigen Zoll im Durchmesser eine ca. 1 Zoll dicke Rinde des ersteren verlief. Das Unterscheidende von Nr. 3 auf S. 120 besteht eben hier darin, daß es sich bei dem Gegensatz zwischen innen und außen nicht um abweichende Beteiligung derselben Gemengteile handelt, sondern um den peripherischen Absatz eines ganz und gar fremden Mineralaggregats, womit zusammenhängt, daß die Grenze gegen die Innenpartie auch hier keine kontinuierliche Veränderung darbietet. Derartige umrindete Einschlüsse liegen ebenfalls im fragmentierten Zustande vor. — Die umgekehrten Fälle — Olivinknollen von ganz fremder Masse umkrustet (z. B. von Feldspat, von Quarzfeldspat-Aggregat, von Glimmer, von Augit) — werden an den Stellen erwähnt, wo sie für die letztere von genetischem Belang sind.

Für die Ortsveränderung der Olivinknollen liefert einen guten Beleg ein in dem gewöhnlichen dichten Finkenberger Basalt liegender Knollen, welcher äußerlich eine centimeterdicke grauschwarze Rinde von ganz feinkörniger Struktur besaß, heller als der umgebende Basalt. Das Präparat zeigte, daß diese Rinde auch aus einer, aber u. d. M. relativ sehr grobkörnigen Basaltvarietät besteht, wie sie mir sonst am Finkenberg nicht vorgekommen ist. Es ist ein Aggregat von vorwaltenden großen Plagioklasen und von gewöhnlichen bräunlichen Augiten, Olivin scheint zu fehlen, aber Biotit spielt eine ziemliche Rolle. Die Individuen sind hier vielleicht zehnmal so groß, wie in dem normalen eigentlichen Basalt, der unmittelbar angrenzt. Die Scheidung zwischen dem letzteren äußerst feinen und dem Rindenbasalt ist ganz ungemein scharf und durch eine fortlaufende Kette dicker Magnetitkörner markiert. Hier ist wohl nur die Erklärung zulässig, daß ein im grobkörnig ausfallenden Basalt festgewordener Olivinknollen, mit einer Rinde desselben versehen, als Einschluß in das normal erstarrende Gestein hineingelangte.

Gewisse eckige und splitterige Einschlüsse vom Finkenberg,

Digitized by Google

welche sich offenbar an die vorwiegend aus Olivin bestehenden anschließen, aber nicht das übliche Grün zeigen, sondern ein eigentümliches Grünlichgrau, verbunden mit einem speckigen Glanz, weisen u. d. M. eine sonderbare Beschaffenheit auf: die Olivine sind nämlich bis auf einige zurückgebliebene Reste größtenteils in meist dichtes Carbonat, zum anderen Teil in Opal umgewandelt. Die Pseudomorphosen von Carbonat nach Olivin zeigen manchmal ganz deutlich die terminalen dachartigen Zuspitzungen der ehemaligen gut automorphen Individuen. Das Carbonat, stellenweise etwas blaßbräunlich gefärbt, mit seiner charakteristischen fein irisierenden Aggregatpolarisation ersetzt den Olivin bald in der Form vorwiegend leistenähnlicher zackiger Streifen, welche, wie es scheint, ihren Verlauf hauptsächlich nach der Vertikalaxe des Olivins nehmen, weshalb denn in den benachbarten, verschieden orientierten Individuen diese Streifensysteme winkelig aufeinanderstoßen; bald sind aber auch die alten Olivinkonturen mit einem an serpentinische Umbildung erinnernden netzartigen Geäder von Carbonat erfüllt, an dem man sehr gut ältere und jüngere Zersetzungsgänge unterscheiden kann. Wie angeführt stecken in diesen sekundären Carbonatmassen mehrfach noch frische Kerne von äußerst blassem Olivin mit ihrer rauhen Oberfläche, wobei sämtliche zu einem Individuum gehörige auch dieselben lebhaften Polarisationsfarben ergeben. Bisweilen liegen innerhalb des dichten Carbonats sehr kleine scharfe Rhomboëderchen eines offenbar chemisch etwas abweichenden Carbonats, welche das Licht stärker brechen. In den allermeisten Fällen aber pflegt das carbonatische Umwandlungsprodukt des Olivins keine Kerne des letzteren mehr zu umschließen, sondern vollkommen farblose Partien mit ganz glatter Oberfläche, von schwacher Lichtbrechung und absoluter Isotropie, welche bei gekreuzten Nicols über das ganze Präparat hin wie tiefdunkle Tintenflecke erscheinen. Sie können nur als Opal gelten, welcher auch makroskopisch die Einschlüsse teilweise umrindet und sie als Äderchen durchzieht. Während die Grenze zwischen Carbonat und Olivinkernen immer glatt in scharf gezogenen Linien verläuft, springen an derjenigen von Carbonat und Opal oft rhomboëdrische Zacken des ersteren in den letzteren hinein. Übrigens kommt es auch vor, daß Olivinreste in einem Umwandlungsprodukt erhalten sind, welches aus Carbonatgeäder und Opalpartien besteht. Hin und wieder bemerkt man anstatt

Digitized by Google

des Opals zwischen gekreuzten Nicols Partien mit einer Ansammlung ganz verschwommener und winziger, optisch nicht weiter untersuchbarer kleiner Kreuzchen, Stellen, wo wahrscheinlich Chalcedon vorliegt. Soweit mir bekannt geworden, finden sich Pseudomorphosen von Opal nach Olivin nur in einem Basalt von der neuseeländischen Banks-Halbinsel durch KOLENKO erwähnt.[1]) Chemisch ist der Vorgang leicht zu verstehen:

$$Mg^2SiO^4 + 2\,CO^2 + H^2O = 2\,(MgCO^3) + SiO^2 \cdot H^2O.$$

Sonst enthalten diese hellen Einschlüsse nur äußerst wenig hellgrünen monoklinen Pyroxen, insbesondere keinen Enstatit, Picotit, Glimmer. Wird die Masse mit heißer Salzsäure behandelt, so löst sich das Carbonat, die Olivinreste liefern etwas gelatinöse SiO^2, der Opal bleibt zurück; durch Kochen mit Ätzkali wird dann alles gelöst.

Wie es scheint, liegt bis jetzt für die Olivinknollen nur eine Reihe chemischer Analysen einzelner Gemengteile, nicht aber eine eigentliche Bauschanalyse vor. Die Durchschnittszusammensetzung eines größeren möglichst normal beschaffenen Knollens vom Finkenberg wurde im hiesigen ersten chemischen Universitätslaboratorium durch die Herren cand. chem. ALBERT SCHMIDT (I) und REINHOLD RIEKE (II) nach dem Verfahren von HILLEBRAND-ZSCHIMMER ermittelt; III ist das Mittel beider Parallelanalysen. Eine ebenso nahe als leicht erklärliche Übereinstimmung zeigt IV, eine von LACROIX mitgeteilte Analyse des Lherzoliths vom Weiher Lherz.[2])

	I.	II.	III.	IV.
Kieselsäure	43.18	43.22	43.20	44.64
Tonerde	2.40	2.44	2.42	5.85
Chromoxyd	Spur		Spur	ca. 0.20
Eisenoxyd	4.54	4.37	4.45	2.85
Eisenoxydul	4.55	4.59	4.57	4.50
Kalk	2.76	2.74	2.75	2.47
Magnesia	38.89	38.77	38.83	38.76
Kali	0.56	0.59	0.57	—
Natron	2.32	2.35	2.33	—
Glühverlust	—	—	—	0.30
Wasser	0.75	0.78	0.77	—
	99.95	99.85	99.89	99.57.

1) Neues Jahrb. f. Mineral. u. s. w. 1885, I. 18.

2) Comptes rendus CXX. 1895. 753.

Digitized by Google

Der MgO-Gehalt in III und IV stimmt fast absolut überein. Der Al^2O^3-Gehalt in den Olivinknollen ist in bemerkenswerter Weise noch geringer, als man nach der sonstigen Analogie auf Grund der vorhandenen Analyse IV erwarten sollte.

Sind die Olivinknollen Bruchstücke von Urausscheidungen, so liegt in ihnen — wie auch M. Bauer glaubt — ein wohl schlierenartiges Spaltungsprodukt des Anfangsmagmas vor, welches, wie zu vermuten war, bei geringer SiO^2-Menge namentlich charakterisiert ist durch einen außerordentlich hohen Gehalt an MgO, bei gänzlichem Zurücktreten von zumal Al^2O^3, auch von CaO und spärlichen Alkalien. Wissen wir auch über die Differenzierungen des Urmagmas nicht viel Genaues, daß sie stattgefunden haben, ist kaum zweifelhaft. Und Basalte scheinen mehr als alkalireiche Magmen zur Schlierenbildung geeignet. So sagt auch Morozewicz: „Magmen, die an Magnesia, Eisenoxydul und Kalk reich sind, bilden dickflüssige, wenig bewegliche Massen, in welchen die Bildung von Konkretionen und Schlieren sehr gut möglich und leichter vor sich gehend erscheint als in den beweglicheren und besser diffundierenden Alkalimagmen.“[1]) Bei einer solchen Zusammensetzung, wie sie die Olivinknollen zeigen, wird es zu einer Feldspatbildung nicht leicht kommen können. Ebenso ist die Bildung von Korund oder Sillimanit aus solchen Magmapartien ausgeschlossen, welche in der Tat, trotz sonstiger Verbreitung, nie beobachtet wurden. Auch eine Ausscheidung von Zirkon, welcher an SiO^2 und Al^2O^3 reichere Massen liebt, ist hier wohl nie erfolgt.

Wo eine Masse von solcher Zusammensetzung sich aus dem Ur-Basaltmagma ausscheidet, muß letzteres in unmittelbarer Nachbarschaft ganz besonders reich an Al^2O^3, etwas reicher an SiO^2, äußerst arm an MgO, reicher an CaO, wenig reicher an Fe und Alkalien werden. Dadurch kann wiederum Gelegenheit geboten werden zur Entstehung von anderen Ausscheidungen, welche auch ihrerseits außerhalb des Rahmens der normalen basaltischen Erstarrungsprodukte fallen. Die durch die Ausscheidung des Olivinknollen-Materials lokal veränderten Magmateile konnten sich nun möglicherweise aber auch noch weiter spalten, einerseits Sillimanit und Sapphir kristallisieren lassen, anderenteils, durch Festlegung

1) Mineralog. u. petrogr. Mittheil. XVIII. 1898. 194.

Digitized by Google

des bei letzterem Vorgang nicht verbrauchten CaO und Fe, Augit und Granat aus sich erzeugen.

Man kann es in der Tat vielleicht als nicht unwahrscheinlich hinstellen, daß das Produkt der ersten Magmaspaltung eben in den Olivinknollen vorliegt. Gerade letztere besitzen auch die meisten Umrindungen: Rinden von dunklem Augit, von Magnetit-Augit, von sog. Fettquarz, von Feldspat, von Glimmer, von Quarz-feldspat-Aggregat, eine Erscheinung, welche sowohl die Präexistenz der Olivinmassen als die spätere Ausscheidung der umrindenden Materialien bezeugt. Dadurch würde sich dann das Dasein vieler anderer „Einschlüsse" als Konsequenz ableiten lassen. Und gerade am Finkenberg möchte auch so die überraschend große Menge dieser anders gearteten Einschlüsse mit der dortigen außergewöhnlich großen Anzahl der Olivinknollen zusammenhängen. Wo letztere nur spärlich entstanden, da war auch keine solche Veranlassung zur Ausscheidung von chemisch kontrastierenden Substanzen. In den ungemein zahlreichen Kuppenbasalten der Eifel fehlen die Olivinknollen gänzlich, daneben auch alle anderen endogenen Einschlüsse.

Augitaggregate.

Knollige Massen von reinem oder vorwiegendem dunklem monoklinem Augit, aus vielen Basalten bekannt, sind von den meisten Autoren mit Recht als Urausscheidungen betrachtet worden. Bei dem vorliegenden sehr ausgedehnten Material verhalten sich die mehr oder weniger normalen Vorkommnisse kurz folgendermaßen. Die Partien bestehen aus verschieden gelagerten und ineinander verschränkten Individuen, die nur in der vertikalen Zone bisweilen kristallographische Entwickelung zeigen, mit ∞P {110} und beiden vertikalen Pinakoiden, von kräftigen prismatischen Rissen durchzogen; an den $\infty \breve{P} \infty$ {010} genäherten Vertikalschnitten wurden starke Auslöschungsschiefen gemessen, mit den scharfen parallelen Spaltrissen bis 45° bildend. Die Farbe ist in den Präparaten bald etwas heller, bald etwas dunkler grünlich, mit einem Stich ins Bräunliche, der Pleochroismus hier selbst in den Querschnitten mit bisweiligen Ausnahmen recht wenig intensiv. Sehr wechselnd, aber meist nicht spärlich ist der Gehalt an Interpositionen, an Dampfporen und Glaskörnchen. Kurze schwarze Nädelchen sind in den Vertikalschnitten des Augits vorwiegend

Digitized by Google

parallel *c* eingelagert. (Dannenberg beobachtete in einem solchen Einschluß vom Ölberg wenigstens drei, nicht in einer Ebene liegende Systeme dieser strichförmigen Stäbchen (40), ohne indessen die Orientierung sicher bestimmen zu können.) Magnetitkörnchen sind reichlich, manchmal ziehen hintereinander gelegene Erzpartikelchen in krummen geschwungenen Linien durch das ganze Augitaggregat. Die Augite umschließen ferner öfters kleine braune Biotitblättchen. Ein paarmal wurden auch in ihnen abgerundete Kriställchen von stark pleochroitischem rhombischem Pyroxen eingeschlossen gefunden, die dann aber nicht selbständig im Aggregat aufzutreten scheinen. Das Gefüge pflegt kompakt zu sein, doch gibt es auch etwas poröse Aggregate, bei denen die Individuen wohl mit kristallisierten Enden in ehemalige kleine Hohlräume hineinragen, und diese dann mit Carbonaten und strahligen Zeolithen erfüllt sind.

Der unmittelbar an diese Augitknollen angrenzende Basalt ist ziemlich normal beschaffen, vielleicht manchmal etwas feiner struiert und etwas erzreicher. In ihm liegen wohl als relativ größere isolierte Ausscheidungen genau dieselben Augitindividuen, wie sie auch, in der angeführten Farbe etwas abweichend von den eigentlichen basaltischen, die Aggregate zusammensetzen. Solche trabantenähnlichen Augite im Basalt besitzen aber einen schmalen etwas dunkleren Rand mit einer um 5^0 von dem Kern verschiedenen Auslöschungsschiefe; diese dunklere Zone fehlt den direkt an den Basalt anstoßenden Individuen des Knollens.

Bisweilen offenbart aber das Augitaggregat selbst doch am Rande eine etwas abweichende Beschaffenheit. Zwischen ihm und dem bis an die Grenze ganz normalen Basalt zieht eine nur 0,25 mm breite dichte Zone einher, dunkler, nämlich schmutzig grün gefärbt, nach innen und nach außen recht scharf abgegrenzt. Trotz der schlechten Auflösbarkeit dieser anscheinend glasfreien Zwischenzone ist kein Zweifel, daß sie eine eng aneinander gefügte Zusammenhäufung von etwas dunkleren Pyroxenkörnchen darstellt und daß sie nicht dem Basalt sondern dem Einschluß selbst angehört. Es liegt wohl die Erscheinung vor, welche A. Becker mit unter der Bezeichnung „Angegriffensein des Augits" einschließt (das in einem Zerbröckeltwerden bestehende sog. Angegriffensein konnte nicht deutlich beobachtet werden) und deren auch M. Bauer in zutreffender Beschreibung gedenkt (190). Hin-

Digitized by Google

zuzufügen ist noch, daß dieser Rand, wenigstens eine Substanz, die im abgeblendeten Licht ebenso grünlich grau aussieht, auch längs Sprüngen weit in den Augitknollen hinein verläuft, und daß in einem Falle inmitten des Basalts nahe der Einschlußgrenze ein von solchem Rande rings ganz umgebenes Bruchstück des Knollenaugits bemerkt wurde. Einen körneligen Olivin-Kontaktsaum um die Augitmassen konnte ich bei meinen Materialien niemals beobachten.

Das Hineinspielen des Basaltmagmas bei der Ausscheidung der Augitaggregate zeigt sich daran, daß manchmal auf der Grenze zwischen den Individuen der letzteren kleine isolierte Basaltfetzchen liegen, in denen sich wohl auch winzigste bräunlich durchscheinende Spinell-Oktaëderchen ausgeschieden haben, oder daß sich relativ grobkörnige echte Basaltstreifen durch den Knollen hindurchziehen, die mitunter reich an Glimmer, bisweilen auch etwas carbonatisiert sind. — Die kompakten Augitpartien sind vielfach von carbonaterfüllten Kontraktionsrissen umgeben, welche oft wieder nicht genau auf der Grenze zwischen Einschluß und Basalt verlaufen, sondern nur nahe der Grenze aber innerhalb des letzteren. Von ihnen aus hat sich das Carbonat auf vielen feinen scharfen Äderchen sekundär in die sonst noch ganz frische Masse der Knollen hineingezogen.

Wenn Bleibtreu (544 ff.) namentlich auf Grund von augitischen Säumen um Olivinpartien zu dem Ergebnis kommt, daß hier die ersteren aus den letzteren durch Umwandlung hervorgegangen seien, so kann ich dieser Anschauung nicht beipflichten; ihr steht auch entgegen die Angabe, daß solche, als teilweise Alterationsprodukte geltenden Aggregate von schwarzem Augit und Olivin doch nicht innig mit der zentralen Olivinmasse verwachsen seien. Ebensowenig möchte ich der Argumentierung von Bleibtreu (548) folgen: Weil die Umsetzung von (exogenen) Olivinknollen in Augitaggregate nachgewiesen werden könne, so sei ein Teil der letzteren, wenn sie auch auf den ersten Blick wie (endogene) Ausscheidungen aussehen, doch keine solchen, sondern anfangs ebenfalls fremde Bruchstücke gewesen. In allen diesen Fällen handelt es sich meiner Erachtung nach um gewöhnliche Umrindungen, wie sie so häufig auch sonst zwischen verschiedenartigen Mineralien vorkommen, wo jede Vermutung, daß die Rinde aus dem Kern hervorgegangen, ausgeschlossen ist. Als charakteristisches Beispiel für Umrindungen

Digitized by Google

zeigt ein Einschluß vom Finkenberg als Kern ein 1,5 cm großes einheitliches schwarzes Augitindividuum, darum eine ca 1 cm breite Zone vorwaltend aus etwas gebräuntem Olivin mit spärlichem diopsidartigem Augit; weiterhin nach außen eine stellenweise 2 cm dicke Rinde, die ein verschränktes Aggregat ganz kleiner glaseinschlußreicher Augite darstellt, mit nur recht vereinzelten Olivinen.

Daß aber in der Tat diese dunklen Augitaggregate Ausscheidungen sind, ergibt sich in überzeugender Weise daraus, daß sie ihrerseits am Finkenberg allseitige scharfe Rinden sogar von 6 cm Dicke um rundliche Quarzeinschlüsse bilden.

Andere dunkle Augitmassen sind nicht so rein, sondern enthalten gelben Magnetkies in einzelnen Körnchen oder als förmliches Geäder. In noch anderen werden Partien von derbem Apatit bemerkt, welcher auch schon von Bleibtreu (515) angeführt wird, wie gleichfalls Rinne (II. 73) in einem großen Augitkorn aus dem Tuff des Pusbalges bei Gudensberg eine 1 cm lange und etwa 1 mm dicke Apatitsäule gewahrte.

Diese letzteren geleiten hinüber zu den (bisweilen irrtümlich als Hornblendepartien geltenden) an Titanit und Apatit sehr reichen Augiteinschlüssen, welche z. B. am Finkenberg nicht ganz selten sind und allerhand Eigentümliches aufweisen. Die wirr zusammengehäuften und unregelmäßig begrenzten grünlich schwarzen Augite sind hier sehr viel stärker pleochroitisch als in den gewöhnlichen Augitknollen, die scharf gespaltenen Querschnitte mit ihrem Wechsel von schmutzig grün und lebhaft grünlich oder bräunlich gelb ähneln darin den natriumhaltigen Pyroxenen aus den ebenfalls viel Apatit und Titanit führenden Nosean-Leucitphonolithen der Gegend von Rieden am Laacher See. Der Augit enthält eine ganz unglaubliche Menge von Gasporen, ganz kleine, tief dunkelumrandet, die ungetroffen in den dünnen Präparaten liegen, größere, die durch das Schleifen halb geöffnet sind, so große und dicke, daß sie oben und unten angeschliffen, jetzt mit Canadabalsam erfüllte Löcher im Augit bilden. Um manche der kleineren Poren sitzt eine schmale Glaswand; es kommen auch normale Glaseinschlüsse mit relativ kleinem Bläschen vor, ferner winzige Flüssigkeitseinschlüsse mit freiwillig beweglicher Libelle, die aber beim Erwärmen nicht verschwindet. Ferner ist der Augit reichlich erfüllt mit dicken bis ganz feinen Magnetitkörnern.

Digitized by Google

Das graugrünliche, etwas fettglänzende Mineral, was in diesen dunkeln Aggregaten von vorwaltendem Augit eine Rolle spielt (und wohl von den Sammlern auch für Apatit gehalten wurde), ist Titanit. Es bildet darin meist unregelmäßig begrenzte Partien, doch wurden aber auch ein paar bis gut 0,5 cm lange spitzrhombische Durchschnitte beobachtet. In den Dünnschliffen sind die großen Partien nur von ganz unregelmäßig verlaufenden Sprüngen durchzogen, Spaltbarkeit fehlt. Die Lichtbrechung ist sehr hoch; günstige Schnitte zeigten ein zweiaxiges Interferenzbild mit sehr kleinem Winkel der optischen Axen. Die meisten schief gegen die optische Axenebene gerichteten Schnitte konnten in Folge der starken Axendispersion im weißen Tageslicht in keiner Stellung zur völligen Auslöschung gebracht werden. Die Doppelbrechung ist offenbar sehr beträchtlich, der Pleochroismus äußerst schwach. Die Lösung, welche das isolierte Mineral bei der Behandlung mit Schwefelsäure liefert, wird durch einen Tropfen Wasserstoffsuperoxyd intensiv orangegelb; auch die Phosphorsalzperle ergab im Reduktionsfeuer die Titansäure-Reaktion; schon ohne Zusatz von Zinn war das Glas heiß gelb, nach dem Erkalten violett. Der Titanit ist durchzogen von langen Streifen äußerst feiner Gasporen und Glaseinschlüsse. Wo er unmittelbar an Basalt grenzt, verläuft in letzterem eine Reihe dicker Magnetitkörner, was beim Augit nicht der Fall ist.

Was den Apatit in diesen Augitknollen anbetrifft, so zeigen seine gedrungenen Individuen ($\infty P \cdot OP$) von bläulich grauer Farbe u. d. M. im höchsten Maße die sog. staubige Beschaffenheit. Die Interpositionen sind in manchen Längsschnitten nicht schwierig zu erkennen, teils als längliche cylindrische Poren, teils als solide dunkle Nädelchen, deren Natur jedoch auch hier zweifelhaft bleiben muß; wo sie etwas lockerer liegen, tritt die bläulich polarisierende Apatitsubstanz zwischen ihnen hervor. Am Rande der Individuen häufen sich aber diese Einlagerungen derart, daß dort eine ganz unauflösbare dunkle Masse erscheint. Die länglichen Stäbchen scheinen nach der Vertikalaxe angeordnet, wie sie sich denn auch in rundlichen, einfachbrechenden Apatitschnitten als dicht gesäte Pünktchen zu erkennen geben. Günstige Schnitte lassen gewahren, daß auch selbst in den dicken Magnetitkörnern des Augits relativ große staubige Apatite eingeschlossen liegen. — Während die Apatite sowohl selbständig auftreten, als auch von

Digitized by Google

Augit umhüllt werden, scheinen die Titanite nur in ersterer Weise vorzukommen; Titaniteinschlüsse in den Augiten wurden wenigstens nie bemerkt. Dagegen enthalten die großen Titanite Interpositionen sowohl von Augit als von Apatit. Darnach scheint die Reihenfolge der Festwerdungen zu sein: 1. Apatit, 2. Magnetit, 3. Augit, 4. Titanit, letztere beide vielleicht auch gleichzeitig. — Die Titanit und Apatit enthaltenden Augitmassen führen ferner wohl in kleinen gelblichbraunen Körnchen das Mineral, welches in anderen Einschlüssen als Orthit erkannt wurde.

Wo der Basalt an diese in Rede stehenden Augitaggregate stößt, zeigt seine Masse keinerlei abweichende Ausbildung, mit Ausnahme der erwähnten Magnetitschnur an den Titaniten. Die ihm zunächst liegenden Knollenaugite besitzen aber wohl eine etwas besondere Umrandung, indem, wenn ihre Hauptmasse auf Saftgrün eingestellt ist, dieselbe eine schmale gelbbräunliche Peripherie aufweist, die auch etwas abweichend farbig polarisiert, aber dennoch genau übereinstimmend mit dem Innern auslöscht. Nach der Innenmasse des Knollens zu kommt dieser bräunliche Rand, der mit der eigentlichen basaltischen Augitsubstanz identisch scheint, an den Individuen nicht mehr vor. Ein „Angegriffensein" der Augiträuder wurde nicht wahrgenommen. Übrigens ist der Grenzverlauf zwischen Basalt und Augitknollen allenthalben äußerst unregelmäßig: die Basaltmasse springt in langen spitzeren und stumpferen, oft ihrerseits wieder winkelig hakenförmigen oder geknickten Partien in das Augitaggregat hinein oder umgekehrt, so daß geradezu ein gegenseitig zickzackartig verästeltes Eingreifen hervortritt, wie dies schon mit vielem Detail durch die Loupe ersichtlich ist. Bemerkenswert ist nun, daß genau dieselben großen staubigen Apatite, wie sie der Augitknollen umschließt, nahe der Grenze gleichfalls mitten in dem Basalt liegen. Dadurch wird gewiß auch die Augitmasse selbst sehr deutlich als Ausscheidung gekennzeichnet. Es ist genau derselbe Fall, wie da, wo sich um einen sapphirführenden Feldspateinschluß herum isolierte Sapphire (oder um einen zirkonhaltigen herum isolierte Zirkone) im Basalt selbst finden.

Zum Schluß sei noch ein eigentümlicher Einschluß vom Finkenberg angereiht, eine granathaltige Feldspat-Augitmasse, um welche warziger Calcit mit Opallagen eine Rinde bildet. Die Hauptmasse ist ein äußerst feines Gemenge von etwas vorwaltenden

Digitized by Google

dunklen xenomorphen Augitteilchen, selbst in dem sehr dünnen Präparat bräunlichgrün, sowie von zarten farblosen polysynthetisch lamellierten Plagioklasleistchen, welche beide in ophitischem Gefüge vereinigt sind. Darin liegen, gewissermaßen porphyrartig, größere monokline Pyroxene, innen ganz blaßgrün, äußerlich, wie jene winzigen Augitpartikelchen bräunlichgrün. Die Grenze zwischen den beiden Farben ist ganz unregelmäßig wellig und buchtig, als ob alte blasse Individuen korrodiert und von der dunkleren Augitsubstanz umrindet worden seien, die dann auch die zahllosen kleinen Teilchen als spätere und schließliche Festwerdungen lieferte. Die größeren Augite enthalten kernähnlich unzweifelhafte farblose Orthoklase eingeschlossen, welche auch spärliche selbständige Ausscheidungen bilden. Darnach scheint in diesem Teile des Einschlusses die Reihenfolge der Festwerdungen zu sein: 1. nicht reichlicher Orthoklas, welcher später nicht mehr zur Bildung gelangte; 2. blasser monokliner Pyroxen; 3. Plagioklas; derselbe lieferte mit 4. dem dunklen Pyroxen das feinophitische Material, wobei 4 noch 2 umrinden konnte. — Mitten in der Masse dieses Einschlusses liegen nun aber fleckenähnliche Stellen, die fast nur aus nahezu farblosen, ganz isotropen Granatkörnern bestehen, bis ca 0,15 mm im Durchmesser groß; sie führen zentrale Häufchen von feinsten Glaseinschlüssen und ihr Aggregat ist von Äderchen staubähnlichen Calcits durchzogen, die zwischen den Individuen lagern.

Anhangsweise muß noch des Auftretens von Diopsidaggregaten gedacht werden, die ihre nächsten Verwandten in den Olivinknollen haben. Ein Einschluß vom Finkenberg besteht fast nur aus grasgrünem Diopsid (mit einer Auslöschungsschiefe $c : c$ von ca 37^0) nebst etwas faserigem Enstatit und fast keinem Olivin; ein anderer ist ein grobes Gemenge von Diopsid und etwas zurücktretendem blaßbraunem Enstatit mit nur ganz wenig Olivin und Picotit.

Enstatitmassen.

Blaßbräunlich grüner rhombischer Pyroxen, von der Beschaffenheit, wie er sich an den Olivinknollen beteiligt, bildet auch ganz rein für sich mehrfach selbständige Einschlüsse von selbst 3—4 cm. Durchmesser, bestehend aus vielen derben Individuen, die kreuz und quer gelagert nur von irregulären Kontaktflächen

Digitized by Google

begrenzt sind. Das Mineral wird, wie der betreffende Gemengteil der Olivinknollen bald Enstatit, bald Bronzit genannt; Analysen desselben aus jenen Knollen zeigen einen auffallend konstanten Gehalt an FeO: eine von Bleibtreu 7,63, eine von Knop 6,07, eine von Köhler 7,46, eine von Brauns (bei Bauer) 6,47 %. Dieser Eisengehalt ist nun vielleicht etwas zu hoch, um noch den Namen Enstatit zu rechtfertigen; wenn er gleichwohl hier, wie auch bei den Olivinknollen angewandt wird, so geschieht es, weil selbst in den Schnitten, die bei Bronzit die größten Absorptionskontraste aufweisen, sich kaum eine Spur von Pleochroismus zeigt.

Die Auslöschung geht parallel und senkrecht zu den Spaltungsrissen in allen Schnitten, in welchen letztere nur parallel verlaufen. Schnitte parallel der Hauptspaltungsfläche ergeben kein Axenbild im konvergenten Licht. Querschnitte mit den fast rechtwinkelig sich kreuzenden Spaltrissen liefern ein Axenbild und man sieht, daß die optische Axenebene parallel geht der Halbierungslinie des stumpfen Prismenwinkels, also im Brachypinakoid liegt. Die Vertikalaxe ist spitze Bisektrix und, wie das Gipsblättchen zeigt, die Axe der kleinsten Elastizität, die Doppelbrechung positiv; $a = \mathfrak{a}$, $b = \mathfrak{b}$. Die relativ stark lichtbrechenden und deshalb hohes Relief zeigenden Schnitte ergeben die charakteristischen niederen Polarisationsfarben. Die von M. Bauer (195) erwähnte muschelig brechende „zweite Abart" des Bronzits ohne deutliche Spaltbarkeit wurde nicht beobachtet; ferner ließen sich auch die mehrfach angegebenen Krümmungen und Verdrückungen in meinen Materialien nicht wahrnehmen.

Die Enstatite sind sehr reich an winzigen Gasporen und Glaseinschlüssen. Viel mehr aber fallen weitere, auch anderswoher bekannte Interpositionen auf, von denen die größten in den Präparaten schon makroskopisch sind: länglich streifenähnliche Blättchen, bei größerer Dicke sepiabraun, bei mittlerer bräunlich oder rötlich gelb, bei großer Dünne blaß zitronengelb, wohl beträchtlich lichter als die im Hypersthen enthaltenen. Immer liegen sie mit ihrer Längsrichtung parallel den Spaltrissen in den Vertikalschnitten; sie werden hier bis 0,8 mm lang bei einer Breite von 0,15 mm. Die beiden Längsseiten sind meist scharf ausgezogen und genau parallel, die Terminierungen irregulär: doch zeigen auch wohl die seitlichen Ränder wellige Einbuchtungen, nebenher kommen durchlochte Blättchen vor. Trotz der intensiven

Digitized by Google

Farbe sind die Lamellen ganz unpleochroitisch, und sie reagieren auch nicht im mindesten auf polarisiertes Licht; bei der Einstellung des Enstatits auf Dunkel ist ihre Gegenwart unerkennbar. Dennoch scheint mir nicht angängig, mit Bleibtreu (511) diese lamellaren Interpositionen für Picotit zu halten. Eher könnte man vielleicht an dendritisch eingedrungenes Eisenoxydhydrat denken. Auf die Schliffoberfläche gebrachte Salzsäure färbt sich sehr bald gelb, und nach längerer Einwirkung gewahrt man bei schief auffallendem Licht unter der Loupe längliche Vertiefungen, welche den dort an der Oberfläche befindlich gewesenen Blättchen zu entsprechen scheinen.

Außerordentlich deutlich ist die vielfach konstatierte Einwachsung von feinen Lamellen monoklinen Augits in diesen Enstatiten; in Enstatitschnitten parallel $\infty \breve{P} \infty$ {010} verraten sich diese Einlagerungen zwar weder im gewöhnlichen noch im polarisierten Licht; aber in anderen Vertikalschnitten oder in Spaltungsstückchen, die auf einer Prismenfläche liegen, zeigen jene monoklinen Streifen zwischen den gerad auslöschenden rhombischen eine Auslöschungsschiefe bis zu 45°. — Ein vorwiegend aus Olivinkörnchen bestehender Saum um die Knollen rhombischen Pyroxens, wie ihn Rinne (I. 16) beschreibt, konnte nicht beobachtet werden. Trübe Streifchen einer nicht weiter zu bestimmenden carbonathaltigen Substanz ziehen durch den frischen Enstatit, wahrscheinlich zersetzte basaltoidische Materie.

Außer diesen reinen Enstatitpartien kommen am Finkenberg andere vor, welche in ganz wechselndem Verhältniß, aber unter Vorwalten des Enstatits mit grünem Diopsid oder mit dunklem Augit oder mit Picotit gemengt sind, und so entschiedene Übergänge zu den Olivinknollen bilden; bisweilen führen solche Aggregate spärlichen Plagioklas.

Die größeren reinen Enstatitpartien werden schwerlich als exogene Bruchstücke unterirdischer Vorkommnisse, als Fragmente anstehender Pyroxenite oder Websterite gelten können. Sind es aber Ausscheidungen, so fällt auch dadurch Licht auf den früher als fremdartig erschienenen Enstatitgehalt der Olivinknollen. Da auch die anderen Mineralien der letzteren als reine oder fast reine selbständige Ausscheidungen auftreten, so ist die Fähigkeit des Basalts, dieselben zu lherzolithähnlichen Gemengen vereint zu produzieren, nicht zu bezweifeln.

Digitized by Google

Hornblendepartien.

Eine Ausscheidung von Hornblendeaggregaten scheint nur sehr viel seltener, als es bei pyroxenischen Mineralien der Fall, vorgekommen zu sein und ein großer Teil der von den Sammlern als Hornblendeknollen bezeichneten Einschlüsse hat sich bei näherer Untersuchung als aus schwarzem Augit zusammengesetzt erwiesen. Der Basalt des Ölbergs im Siebengebirge führt Hornblendemassen fast wie die bekannten in dem benachbarten Andesit des Stenzelbergs, weitere finden sich im Lühnsberg bei Muffendorf (Mehlem) und im Scheidskopf w. von Remagen. Auch im Finkenberg gibt es Aggregate, welche zu $^3/_5$ aus wirklicher schwarzer Hornblende, zu $^2/_5$ aus Magnetkies bestehen, andere, die außer Hornblende sog. schlackiges Magneteisen und Apatit, wohl etwas violettlich, enthalten.

Typische Erscheinungen bot eine individualisierte schwarze glänzende Hornblendepartie im Finkenberger Basalt, über 2 cm lang, 1,5 cm breit. Dieselbe zeigt sowohl am Rande, als auch kanalähnlich das ganze Innere durchziehend, jene seltenere und eigentümliche Umwandlung, bei welcher es sich nicht — wie bei den dunkleren mehr kompakten Rändern in Andesiten, Trachyten und Porphyriten — um ein sehr inniges Aggregat von rundlichen feinen Augitpartikelchen und opacitischen Körnchen handelt, sondern in erster Linie und in großer Menge tief dunkelbraune bis schwärzliche längliche Stäbchen und keulenförmige Körperchen entstanden sind. In dem vielverzweigten Netzwerk dieses Umwandlungsprodukts liegen noch größere oder kleinere insel- oder fetzenähnliche Reste der Hornblende. Jene stäbchenförmigen Gebilde können hier besser als in den meisten anderen Fällen untersucht werden. Sie sind meist parallel geordnet und zwar entsprechend der amphibolischen Vertikalaxe, ein kleiner Teil aber kreuzt dieses System unter einem Winkel von ca 60°. Die dünneren derselben zeigen deutlichen Pleochroismus: gelblichbraun, wenn ihre Längsrichtung parallel dem Nicolhauptschnitt geht, fast impellucid, wenn beide senkrecht stehen. Soweit die geringe Pellucidität erkennen läßt, besitzen sie alle gerade Auslöschung. Begleitet werden diese Nadeln von zahlreichen heller braunen, im Präparat parallel und horizontal liegenden Blättchen ohne kristallographische Umrisse mit zersägten und lappigen Rändern; diese Lamellen innerhalb der Hornblende wirken nicht auf das polarisierte Licht,

Digitized by Google

werden bei der Dunkelstellung der letzteren völlig unerkennbar. Stäbchen und Blättchen scheinen, worauf viele Verwachsungen, ja Übergänge in der Farbe hinweisen, zusammenzugehören, wobei es aber recht fraglich ist, ob die ersteren auf der Kante stehende Lamellen darstellen.

Zwischen den in Reih und Glied stehenden Stäbchen liegen gar nicht selten wohlkristallisierte, etwas violettliche Augite, deren Vertikalaxe parallel den Stäbchensystemen geht und die auch gleich orientiert mit der Hornblende sind, so daß beide die Prismenzone und $\infty P \infty$ gemeinsam haben. Wo das Gewebe lockerer ist, treten auch hin und wieder kleine gestreifte Plagioklase hervor; ein ganz opakes körnchenähnliches Mineral, welches als Magnetit zu deuten wäre, wird aber nicht beobachtet. — Am Rande ist die Hornblende ganz in dieses Umwandlungs-Aggregat verändert, welches keine Reste der ersteren mehr umschließt. Die Grenze gegen den völlig normalen Basalt ist durchaus scharf, hier zeigt sich aber die Erscheinung, daß die Stäbchen eine kurze Strecke weit genau senkrecht auf der Basaltgrenze stehen; erst weiter nach innen zu erfolgt dann deren oben erörterte Gruppierung.

Derartige Stäbchen wurden beobachtet in den Hornblenden der Basalte: der Nürburg (Zirkel 1870) und des Kelbergs in der Eifel (Sommerlad 1882, K. Vogelsang 1890), der Insel Palma (van Werveke 1879), der Rhön (Sommerlad 1882, Petzold 1883, Lenk 1887), des Haurâns in Syrien (Doss 1886), des Kilimandjaro (Hyland 1888), Madagaskars (Hatch 1889), vom Cabo de Gata (Osann 1891), des Kula-Bassins in Lydien (H. S. Washington 1894). Alle Beschreibungen stimmen sonst überein, nur wird über die Auslöschung der Stäbchen abweichend berichtet: Die Angaben schwanken von „gerade“ (Washington) und „parallel oder wenig geneigt zur Längsaxe“ (van Werveke) bis zu 20^0 Schiefe (Hyland) und 25^0 Schiefe (Doss) im Maximum. Die älteren Autoren, welche überhaupt eine Meinung äußern, vermuten meist in den Stäbchen neugebildete Hornblende; Bleibtreu möchte in solchen, die nach seiner Beschreibung übereinstimmen, Glimmermikrolithen erblicken. Washington ist geneigt, in ihnen Hypersthen zu sehen[1]) und zwar: weil eine Rekristallisation der Hornblende wiederum als Hornblende unwahrscheinlich sei, weil

1) The volcanoes of the Kula-Basin in Lydia. Inaug.-Dissertation. Leipzig 1894.

Digitized by Google

der Pleochroismus der Stäbchen mit dem des Hypersthens übereinstimme und er dieselben stets als gerade auslöschend befand, wobei er die früheren Angaben über schiefe Auslöschung zu berichtigen versucht; ferner weil die Gruppierung der Stäbchen innerhalb der Hornblende mit den Verwachsungsregeln des Pyroxens übereinstimme, auch sonst schon eine Umwandlung von Hornblende in Hypersthen bekannt geworden sei.

Im vorliegenden Falle können die Stäbchen schon wegen ihrer geringen Pellucidität wohl nicht als Hypersthen oder Glimmer gelten. Alle Wahrnehmungen geleiten darauf, den Versuch zu machen, sie als Titaneisen zu deuten, worauf sowohl die gerade Auslöschung als der mit dem des Titaneisens völlig übereinstimmende Pleochroismus, als der Zusammenhang mit den Blättchen verweisen würde; auch läßt die violettliche Farbe der begleitenden Augite, durchaus verschieden von der braungelben der basaltischen, einen Titansäuregehalt vermuten. Eine reine Isolierung der Nädelchen ist zwar hier, wie in allen früheren Fällen, wo sie zur Beobachtung gelangten, mechanisch und chemisch unmöglich. Aber in der Tat ergab die feinst gepulverte Hornblende sowohl in der Phosphorsalzperle als nach der Behandlung mit Schwefelsäure und dem Zusatz von Wasserstoffsuperoxyd die allerdeutlichste Titansäure-Reaktion.

Was die im Schnitt bräunliche Hornblende selbst anbetrifft, so zeigt sie im Gegensatz zu der sonstigen sog. basaltischen einen, auch schon von van Werveke und Hyland beobachteten auffallend schwachen Pleochroismus: die parallel der Vertikalaxe und die senkrecht dazu schwingenden Strahlen sind nur ganz wenig von einander verschieden; immerhin scheint aber aus einer Vergleichung verschiedener Schnittrichtungen hervorzugehen, daß auch hier das Schema $c > b > a$, nur mit sehr geringfügigen Differenzen gilt. An feinsten Glaseinschlüssen mit Libellen ist die Hornblende überreich.

Glimmermassen.

Von der Beteiligung des Magnesiaglimmers an den Olivinknollen war schon S. 118 die Rede. Glimmer bildet aber auch für sich selbständige, mitunter umfangreiche Partien, die namentlich wieder vom Finkenberg, auch vom Lühnsberg bei Muffendorf

Digitized by Google

bekannt sind, in der Regel von einer Calcitzone umsäumt. Dieselben werden von Bleibtreu nicht erwähnt, auch Rinne scheint sie in den Weser- (Werra- und Fulda-) Gebieten nicht beobachtet zu haben; Lacroix führt sie weder in seiner enallogenen noch in der homöogenen Gruppe der Einschlüsse auf. In ihnen gewährt das Mineral einen recht verschiedenen Anblick. Es ist bald normaler Biotit, mit seinem richtigen Glanz, von dunkelbraunschwarzer Farbe, dessen etwas verworrene Lamellen ganz allein Massen bis zur Größe einer halben Faust zusammensetzen; vielleicht liegt in ihnen dasjenige vor, was Pohlig (Niederrhein. Gesellsch. 1887. 168) als „Fragmente eines unzweifelhaften archäischen Schiefers, eines ausgezeichneten schwarzen Schuppenglimmerschiefers" aus dem Finkenberg bezeichnet.

Sehr dünne Spaltblättchen zeigen ein Axenbild mit äußerst kleinem Axenwinkel und die Hyperbeln gehen kaum auseinander. Die Divergenz zwischen Spaltrissen und Auslöschungsrichtung muß ganz minimal sein, da sie nicht konstatiert werden kann; deshalb ist Zwillingsbildung durch Dunkelstellung bei gekreuzten Nicols nicht zu erkennen, es weist aber auch keine andere Erscheinung auf ihr Vorhandensein hin. Das Licht wird parallel a mit hellstrohgelber Farbe durchgelassen, parallel b und c recht stark absorbiert. Die kreuz und quer verwobenen Glimmeraggregate besitzen insofern bisweilen eine etwas porphyrartige Struktur, als in den Präparaten große reichlamellierte rechteckige Vertikalschnitte und ebenfalls große basische Schnitte ein Haufwerk von viel kleineren Individuen zwischen sich lassen.

Neben diesem normalen Biotit beteiligt sich nun an den Einschlüssen eine mit ihm durch Übergänge in Verbindung stehende andere eigentümliche glimmerige Substanz, welche, wo sie von ihm am meisten abweicht, minder leicht spaltbar, matt und glanzlos, trübe ist, dabei schmutzig gelblichbraune Farbe besitzt und mitunter fast dicht erscheint. Es gibt viele Einschlüsse, welche lediglich aus dieser letzteren Abart bestehen, die im folgenden als der trübe Glimmer bezeichnet werden soll. Bisweilen bildet sie einen Rand um Partien von schwarzem glänzendem und stark blättrigem Biotit und auch das Umgekehrte kommt, allerdings sehr selten, vor. Zu ermitteln, worin die Ursache der Trübheit und Glanzlosigkeit besteht, war eine der Hauptschwierigkeiten, die sich im Laufe sämtlicher Untersuchungen darboten. Bleibtreu,

Digitized by Google

welcher diesen Glimmer als makroskopischen Gemengteil von Olivinknollen kannte, vermochte 1883 nicht zu bestimmen, welche Bewandtnis es mit seiner „feinkörnig" gewordenen Beschaffenheit habe (540).

Bei denjenigen Glimmereinschlüssen, bei denen der Glanzverlust nur im geringen Maße Platz gegriffen hat, ist in den Präparaten über das, was ihn bedingt, meist nicht viel Genaues zu erkennen. Bei den schief auf die Lamellierung getroffenen Blättern beschränkt sich das matte Getrübtsein vielfach auf einzelne ganz schmale parallele Streifen, die nur wie ein feiner dunkler Strich erscheinen, streckenweise absetzen und dann wieder eintreten. Zwischen ihnen liegen dann noch ganz klare breitere Glimmerstriemen mit ihrem typischen Pleochroismus. Wenn auch die Trübung überhand nimmt, so bleibt doch der Verlauf der Lamellierung noch immer markiert erhalten. Von den unpleochroitischen Glimmerquerschnitten erscheint ein Teil ganz klar, ein anderer mehr getrübt, und es liegt nahe anzunehmen, daß in jenen die klareren, in diesen die getrübten Lamellen getroffen vorliegen. Schnitte, welche wenig schief auf der Lamellierung stehen, sind so auf der einen Seite klar, auf der anderen getrübt. Worauf nun aber dieses letztere zurückzuführen, darüber läßt sich in solchen Fällen nichts anderes aussagen, als daß im normalen Glimmer ganz außerordentlich feine staubähnliche Körperchen, körnelig oder kurzkeulig, liegen. Diese Partikelchen treten in den zwischen gekreuzten Nicols dunkeln Glimmerquerschnitten mit Aggregatpolarisation hervor, und hier scheint es manchmal, als ob ihre Verteilung in drei Richtungen mit Winkeln von ca 120° vordringt. Die mineralische Natur dieses Staubes ist indessen bei stärkster Vergrößerung nicht zu erkennen.

Bessere Aufklärung bieten die Einschlüsse ganz matt und glanzlos gewordenen Glimmers. Aber hier hat die Untersuchung ergeben, daß das veränderte Aussehen in den einzelnen Vorkommnissen auf zweierlei verschiedene Ursachen zurückzuführen ist, nämlich auf einen Umsatz zur Hauptsache in Augitkörnchen und andererseits einen solchen in neu gebildete Biotitflitterchen. Immer zeigt jedoch das, was früher einheitlicher Biotit war, in den Präparaten noch sehr deutlich den Gegensatz von vertikalen und basischen Schnitten, indem in den ersteren die alte Lamellierung auch jetzt noch durch eine Abwechslung von etwas abweichend

Digitized by Google

beschaffenen Streifchen angezeigt ist. Der ursprüngliche Pleochroismus ist natürlich ganz verloren gegangen.

Daß die sehr feinen, bisweilen aber auch etwas dickeren, rundlichen und eckigen Körnchen, von blaßbräunlichgelber Farbe und lebhaft polarisierend, welche hier den Glimmer ersetzen, dem Augit angehören, ist an günstigen und klareren Stellen nicht zweifelhaft; mitunter sind ihnen auch erkennbare rötlichbraune und vielfach sechsseitig begrenzte Schüppchen von neu entstandenem Biotit beigemengt. Die parallele Streifung ihres Komplexes scheint durch die reihenweise Abwechslung von verhältnismäßig zarteren und gröberen Körnchen bedingt zu werden. Hin und wieder erblickt man ferner zwischen den Augitkörnchen violettliche Oktaëderchen von Spinell. An den dünnsten Stellen des Präparatrandes wurde einigemal ein farbloser, ganz schwach polarisierender Untergrund bemerkt, der zwischen gekreuzten Nicols eine Farbe gab, etwa zu vergleichen der einer ganz dünnen Nephelinschicht. Einmal zeigte sich in dem etwas lockeren Aggregat noch ein unbekanntes Mineral in spärlicher Menge, gedrungene Leisten mit dachähnlicher Zuspitzung, ganz blaßbräunlich pellucid und äußerst schwach lichtbrechend, ohne ersichtliche Reaktion auf das Gipsblättchen, jedenfalls weder Augit noch Biotit.

In anderen Einschlüssen, an denen sich „trüber Glimmer", wie es scheint, von etwas dunklerer Farbe beteiligt, ist eine abweichende Veränderung eingetreten. Die ehemaligen Glimmer bestehen nämlich fast lediglich aus einem Aggregat allerkleinster, bei starker Vergrößerung sehr gut erkennbarer Glimmerblättchen, welche streng parallel und zwar in Übereinstimmung mit den ursprünglichen größeren Blättern orientiert sind. Deshalb sieht man in den Vertikalschnitten der letzteren alle die unzähligen dicht nebeneinander gereihten stäbchenähnlichen Durchschnitte der minimalen Blättchen, und ihre ganze Versammlung zeigt den in solcher Stellung erforderlichen Pleochroismus: die Scharen werden dunkelgelb, wenn der a. o. Strahl des Polarisators parallel der Erstreckung der Leistchen, blaßgelb, wenn er senkrecht zu letzterer schwingt. In den horizontal liegenden ehemaligen Glimmerblättern zeigt sich statt dieser Stäbchen ein Gewimmel unpleochroitischer winziger Flitterchen. Es ist kein Zweifel, daß hier eine Umsetzung kompakten Biotits in ein Biotitaggregat unter Erhaltung der Form stattgefunden hat. Zwischen den Blättchen tritt, wo sie

Digitized by Google

nicht allzu dicht liegen, eine farblose ganz isotrope Substanz (Glas?) hervor und an solchen Stellen erblitzen bei gekreuzten Nicols die schiefstehenden Lamellchen flimmernd auf kohlschwarzem Untergrund. Außerdem aber liegt in diesen Aggregaten örtlich in wechselnder Menge noch Augit, dessen blasse rundliche Körnchen sehr gut gegen die flachen Blättchen abstechen. Bei beiden Ersetzungen des Biotits durch Augit und Biotit entwickeln sich auch spärliche Nädelchen, mit derselben Farbe durchscheinend, wie die Titaneisengebilde in den Basalten; mit ihnen stehen trichitenähnliche gekrümmte Härchen oder längere dunkle Fäden in Verbindung, welche wahrscheinlich ebenfalls dem Titaneisen angehören.

Daß diese Umsetzungen des Biotits in Augit oder in Glimmer, wobei bald der eine bald der andere vorwaltet, nicht auf nassem Wege erfolgt sind, versteht sich von selbst, und man wird sie nur mit der Einwirkung des Magmas in Verbindung bringen können; von jeher hat der Glimmer als das allersensibelste Silikat gegolten, und es kann nicht auffallen, daß er Veränderungen erfährt, wenn andere Mineralien nicht davon betroffen werden.[1])

Außer den reinen Partien von normalem Biotit oder von „trübem" Glimmer kommen am Finkenberg als Einschlüsse noch vor:

Aggregate von vorwaltendem, hauptsächlich wohlerhaltenem Biotit mit bis 3 mm großen Olivinen; letztere, oft etwas carbonatisiert, sind nicht sonderlich regelmäßig ausgebildet, greifen aber doch stets in die Glimmerblätter hinein, so daß sie hier das erste Ausscheidungsprodukt darstellen. Massen dieser Art sind unter den Gesteinen wohl nicht bekannt. — In solchen Einschlüssen von vorwiegendem Glimmer und Olivin finden sich ferner schwarze Picotitpartien, bis über 1 cm groß, ganz irregulär be-

1) Die Umsetzung des Biotits in Augit ist mehrfach konstatiert worden. Busz erwähnt als Neubildungsprodukte aus dem Biotit der Lava vom Firmerich bei Daun und vom Errensberg in der Eifel außer Magnetit und Augit auch Glimmer (Verh. naturh. Vereins Rh. u. W., Bonn 1885. 425. 428). M. Clements beobachtete in ähnlicher Weise, daß an den durch magmatische Einwirkung eingebuchteten Biotiträndern ein Saum von dunklerem Glimmer neu gebildet saß, ein Aggregat sehr kleiner Blättchen, welche anscheinend mit dem ursprünglichen Glimmer parallel gestellt waren (Langenauer Berg im Duppauer Gebirge, Jahrb. k. k. geol. R.-Anst. XL. 1890. 336). Lacroix berichtet von einer Veränderung in Spinellide unter Reproduktion feiner Biotitblättchen; wenn er aber (85) auch eine solche in reinen Spinell angibt, so darf man fragen, wo dabei die SiO^2 des Biotits bleibt.

grenzt und schwach schmutzig grün durchscheinend. Hier wird aber auch bemerkt, daß die drei Mineralien Glimmer, Picotit und Olivin sich gegenseitig umschließen; Glimmer, der jedenfalls am besten automorphe Gemengteil, sitzt im Innern des Picotits und des Olivins, Olivin und Picotitkörnchen in (nicht nur zwischen) den Glimmerblättern u. s. w., so daß eine Reihenfolge der Festwerdung nicht zu konstruieren ist. — Ein solcher Einschluß war umgeben zunächst von einer ganz dünnen Zone warzigen Carbonats, darauf folgt nach außen eine schmale Basaltzone, die mit der Carbonatrinde im Präparat schon als ein heller Rand erscheint. Von dem normalen relativ glimmerreichen Basalt, in welchen sie nach außen rasch übergeht, unterscheidet sie sich durch: reichliches Dasein farbloser bis blaßgelblicher ganz isotroper Glasbasis, scharf ausgebildete etwas violettliche Augitkristalle, z. T. mit ideal schönem Sanduhrbau, durch eine Menge von trichitischen Titaneisenstäbchen, kreuz und quer gelagert, sehr dünne lange Apatitnadeln; die größeren Feldspate sind hier anscheinend monoklin.

Faustgroße Aggregate matter glanzloser Glimmer mit gewissermaßen eingeklemmten, bis 2 mm langen leuchtend grasgrünen diopsidartigen Pyroxenen, in den Querschnitten sehr scharf achteckig begrenzt; in einem derselben lag in der Mitte eine rundliche Basaltpartie. Die Pyroxene sind häufig von dem Glimmer durch eine ca an dem dritten Teil des Umfangs verlaufende Calcitschale getrennt. Auch haben sich Glimmereinschlüsse mit schwarzem Augit gefunden.

Außerdem liegen in den Glimmeraggregaten dieser Art kleine Sillimanite mit ihren charakteristischen Querschnitten, ganz rundum von einem Carbonatring umzogen. — Weiterhin sind noch bekannt geworden ein trübes Glimmeraggregat, mit pfefferkorngroßen Körnern sog. schlackigen titanhaltigen Magneteisens durchsprenkelt, sowie ein innen aus normalem Biotit, außen aus etwas dichtem und mattem Glimmer bestehender Einschluß, darin ein 1 mm großer hellrot funkelnder Zirkon.

Sollte es noch zweifelhaft sein, daß in den Glimmeraggregaten, die so manche für Ausscheidungen charakteristische Mineralien führen, selbst Ausscheidungen vorliegen, so sprechen folgende Wahrnehmungen zu Gunsten der letzteren Auffassung: Zunächst die zonenweise Verteilung der zugemengten Mineralien; so gibt es Einschlüsse, deren innerer Hauptteil aus vorwiegendem dunklen

Digitized by Google

blätterigen Glimmer besteht, regelmäßig jedoch spärlich durchwachsen von intensiv grünen Diopsidkörnern; am Rande aber, wenn auch nicht ganz allseitig herum, jedoch auf lange peripherische Strecken hin, verdrängt der Diopsid den Glimmer in hohem Grade. Eine äußere Umwandlung wird man hierin nicht erblicken können, nach dem Aufbau des Einschlusses kann ein fremdes Gesteinsfragment nicht vorliegen. Sodann die Umrindungen durch Glimmer; vom Ölberg stammt ein 5 cm langer Einschluß, größtenteils normales Olivinknollen-Material, an dessen Ende aber ganz reiner Glimmer sitzt, wahrscheinlich das Fragment eines von Glimmer überkrustet gewesenen Olivinknollens. Viel deutlicher jedoch zeigen dies noch Olivinknollen des Finkenbergs, welche von einer durchschnittlich 1 cm breiten Zone makroskopisch fast dichten bräunlichen Glimmers (u. d. M. umgesetzt in Biotitblättchen), bisweilen auch von einer solchen normalen blätterigen Biotits rund herum umgeben sind. Der Knollen selbst ist auch wieder in sich gegliedert: im Innern besteht er aus ziemlich automorphem Olivin (vielfach unter Erhaltung von Kernen verändert in Carbonat und Opal) sowie Diopsid; darum legt sich nach außen eine durch Übergänge verbundene Zone von Diopsidkörnern, fast ohne jeden Olivin. Darauf folgt die peripherische Glimmerrinde mit etlichen Diopsiden. Die wechselnde Aggregation nebst ihrer Verteilung verweist auf den gemeinsamen, nur als Ausscheidung zu denkenden Ursprung aller dreier Materialien, des Olivinknollens mit seiner Diopsidzone und seiner Glimmerkruste.

Granatreiche und wollastonitreiche Aggregate.

Granat in rheinischen Basalten mußte bisher als ganz außerordentliche Seltenheit gelten. Als einziges literarisches Citat liegt die Angabe von Kloos vor, daß im Basalt des Ölbergs kleine rote Granaten vorkommen, an deren Natur wegen der deutlichen Kristallform kein Zweifel sein könne.[1]) Wenn dies isolierte Granatindividuen gewesen zu sein scheinen, so sind in den letzteren Jahren am Finkenberg ganz ausgezeichnete und umfangreiche körnige Einschlüsse vorgekommen, die zum größten Teil aus Granat, da-

1) XI. Jahresber. d. Ver. f. Naturw. zu Braunschweig; Angabe entnommen aus N. Jahrb. f. Miner. 1900. I. 197. — Die Kombination P. ∞P∞ des Zirkons gleicht oft täuschend ∞O des Granats.

neben vorwiegend aus Augit bestehen[1]); die überraschende Mannigfaltigkeit der dortigen Einschlüsse ist dadurch um ein neues Glied vermehrt worden. Die sehr granatreichen Massen bilden meist heller oder dunkler fleischfarbige bis bräunlich-rötliche Partien, in größeren Knollen tritt makroskopisch Augit hervor. Von den unter einander einigermaßen abweichenden Vorkommnissen mögen folgende etwas näher erläutert werden:

Einschlüsse bestehend zu $^2/_3$ aus frischem Granat; letzterer wird im Schliff blaßbräunlichgelb, ist irregulär zersprungen, ohne jede Spur von Doppelbrechung und führt in sich kleine Gasporen und schwarzen Erzstaub. Viele der größeren Individuen (bis 3 mm im Durchmesser) sind unregelmäßig begrenzt, wo selbständige Konturen auftreten, weisen sie auf Ikositetraëder hin; stellenweise erscheinen Aggregationen viel kleinerer Körnchen, die dadurch von einander abgegrenzt sind, daß sie alle ein zentrales Häufchen winziger unbestimmbarer Interpositionen enthalten. Neben dem Granat liegen ganz blaßgrüne frische monokline Augitschnitte, auch tadellose hübsch verzwillingte Querschnitte. Diese größeren Augitindividuen werden vielfach von einem Kranz etwas dunkler grüner Augitkörnchen umgeben, welche aber nichts aegirinartiges an sich haben und auch schwarmähnlich zwischen den größeren Granaten verteilt auftreten. Von anderen Mineralien erscheinen noch ganz vereinzelte farblose Quarze, bisweilen mit der Loupe erkennbar, Apatite mit blaßviolettem Rand; ferner, hier nur spärlich, aber in anderen Granataggregaten viel reichlicher, ein graulichbräunlicher Gemengteil mit rauher Oberfläche und dunklem Rand, meist in kleinen langgestreckten elliptischen Schnitten, an den Enden zugespitzt, mit stumpfen Polarisationsfarben; der Pleochroismus ist ziemlich deutlich: blaßbraun, wenn die Längsaxe senkrecht auf dem Nicolhauptschnitt steht, fleischfarbig gelblich, wenn beide parallel gehen. Nähere Aufschlüsse über die Natur dieses Minerals, welches als Orthit gelten muß, bietet sein Vorkommen in den Feldspatmassen (s. diese). Carbonat ist zugegen sowohl auf Spältchen, von denen die Granaten durchzogen werden, als auch in der Form kleiner irregulärer Partien im Gesteinsgewebe; an letzterer Stelle scheint es eine sekundäre Infiltration in Drusenräumchen zu sein,

1) Von O. Becker wurden dieselben als Zusammenhäufungen von fleischfarbenem oder zersetztem Zirkon gehalten.

Digitized by Google

auf deren Wandungen die Granaten mehr oder weniger auskristallisiert waren.

In anderen Einschlüssen halten sich blaßbräunlicher Granat und grüner Augit beinahe das Gleichgewicht. Derartige Massen, abermals mit Apatit und Orthit, führen auch wohl Feldspat, u. d. M. zum Teil als Karlsbader Zwillinge. — Mitunter ist aber auch der Pyroxen etwas abweichend beschaffen und dies scheint namentlich der Fall, wenn in einem und demselben Einschluß bald er, bald der Granat örtlich sehr stark, selbst fast bis zur Ausschließlichkeit vorwaltet. Der Pyroxen liefert hier sehr lichte, nahezu farblose Schnitte, welche recht stark faserig geworden sind, so daß in den vertikalen partienweise ein Anblick wie Bastit erscheint, auch folgt kurze Faserung einer Querabsonderung. Doch zeigen die dazwischen frisch gebliebenen Stellen größtenteils bedeutende Schiefe der Auslöschung, und an der monoklinen Natur kann kein Zweifel sein; auch sind die kräftigen Polarisationsfarben diejenigen des monoklinen, nicht des rhombischen Pyroxens. Die idealen, scharf nahezu quadratisch zerspaltenen Querschnitte, an denen die vertikalen Pinakoide fast allein auftreten, sind schön verzwillingt. Solche malakolithartigen Pyroxene liegen auch im Granat, das Umgekehrte wurde nicht beobachtet. Etwas Quarz tritt gleichfalls in dieser Abart auf. Der angrenzende Basalt pflegt ganz normal zu sein, nur verläuft an seiner Grenze ein wohl zu ihm selbst gehöriges Säumchen von grünlichen Augitkörnchen; daran stoßen aber unmittelbar die großen, nicht im mindesten „angegriffenen“ Pyroxene und Granaten des Einschlusses.

Bei einem dieser augitführenden Granateinschlüsse wurde eine eigentümliche Struktur bemerkt. Im Präparat fallen zuerst bis 0,8 cm große blaßbräunliche Granaten auf, absolut isotrop, ohne deutliche Kristallisation; interponiert sind feine Gasporen, auch wohl Glaskörnchen und undefinierbare schwarze Partikelchen. Makroskopisch sichtbar liegen darin, mit hübschem Farbengegensatz, seegrüne monokline Augitschnitte, bis 1,1 mm groß eingeschlossen, ebenfalls reich an Interpositionen. Die Grenze zwischen dem Basalt und den großen Granaten ist außerordentlich scharf, und die einzige Kontakterscheinung besteht darin, daß ersterer auf die kurze Entfernung von nur ca 0,01 mm selbst im dünnsten Schliff ganz impellucid, jedoch mit einer Art von Faserung ver-

sehen aussieht, die senkrecht auf der Grenze steht. Aber um die großen Granaten, sowohl rings um diejenigen, welche an den Basalt grenzen, als um die im Innern des Einschlusses auftretenden, verläuft im Präparat ein Ring basaltischer Masse, in welchem auch winzige rundum ausgebildete Granat-Ikositetraëderchen, innen bräunlich, außen farblos auftreten. — Was nun die zwischen den so umrandeten großen Granaten liegende übrige Masse des Einschlusses betrifft, so ist sie ein von einzelnen größeren grünlichen Augiten durchsetztes Aggregat fast farbloser ganz kleiner Granaten. Die sehr reichlichen, bei schwacher Vergrößerung staubähnlichen Interpositionen, namentlich in deren Zentrum, lösen sich bei starker in überaus deutliche bläschenführende Einschlüsse bräunlichen Glases auf. Dies Aggregat der kleinen lichten Granaten ist von pulverigem Carbonat durchzogen. Es enthält außer jenen Augiten noch viele relativ dickere bräunliche Körner des Orthits (darunter auch einen Zwilling) und eine große Menge ganz winziger Körnchen dieses Minerals, welche, dünner als das Präparat und nicht angeschnitten, in Folge ihrer dunklen Umrandung ganz schwarz und impellucid erscheinen. Außerdem bemerkt man noch Apatit und an einer Stelle faserigen Wollastonit.

Eine bemerkenswerte Eigenschaft der granathaltigen Einschlüsse besteht noch darin, daß in manchen derselben der Granat an der Peripherie augenfällig entschieden reichlicher ist, als im Innern.

Werden diese Einschlüsse, die wesentlich Granat und einen monoklinen Pyroxen halten, welcher dem in Olivinknollen und verwandten Aggregaten nahe steht, an sich betrachtet, so würde man für sie wohl nicht auf die Ansicht gelangen, daß dieselben Bruchstücke von unterirdischen Kalksteinen seien, die innerhalb des Basalts kontaktmetamorphische Veränderung erlitten hätten. Der in ihnen vorhandene Gehalt an Kalkcarbonat kehrt auch in zahlreichen anderen Einschlußgemengen wieder, die einer solchen Deutung aber nicht unterliegen können. Gegen eine solche Annahme und für ihre Ausscheidungsnatur würde gleichfalls sprechen: der Nachweis von Granat in aller Wahrscheinlichkeit nach endogenen feldspathaltigen Augitmassen; der Gehalt dieser granatreichen Einschlüsse an Orthit, der ebenso in den endogenen Augitaggregaten und Feldspataggregaten auftritt und alle diese

Digitized by Google

verschiedenartigen Mineralgemenge mit einander verbindet; das Dasein von Glaseinschlüssen in den Granaten; das S. 143 erwähnte, von Kloos beobachtete Vorkommen von kleinen roten Granatkristallen im Basalt. Eine förmliche Beweiskraft aber für das tatsächliche Ausgeschiedensein des Granats aus dem Basalt dürfte jenen, bisher noch nicht erwähnten merkwürdigen Stücken vom Finkenberg innewohnen, bei denen ein augitführendes, etwas streifiges Quarzfeldspataggregat von einer körnigen Granatkruste scharf umrindet und die Annahme, daß es sich um ein peripherisches Umwandlungsprodukt handelt, ausgeschlossen ist.

Nun könnte man aber an dieser Beurteilung dennoch vielleicht wieder irre werden durch das Auftreten wollastonitführender Granateinschlüsse, deren im Vorhergehenden noch nicht gedacht worden; sie müssen im Anschluß an die wollastonitfreien behandelt werden, indem sie beide zusammengehören, wie immer ihr Ursprung sei. Vorher ist aber noch das Dasein selbständiger Wollastonitpartien zu erwähnen.

Wollastonit ist aus den rheinischen Basalten bisher nicht bekannt geworden, weder als selbständige Knollen, noch als Gemengteil anderer Einschlüsse. Im Basalt des Ölbergs kommen aber über centimetergroße, ganz vorwiegend aus Wollastonit bestehende Aggregate vor; im Finkenberg scheinen ähnliche noch nicht gefunden zu sein. Makroskopisch erscheinen sie als eine etwas verworrene Zusammenhäufung kleiner schmal leistenförmiger und stark glänzender farbloser bis weißer Individuen mit longitudinal verlaufenden Spaltrissen. In den Präparaten zeigen sich vorwaltend die nach der Orthodiagonale verlängerten, von zwei parallelen Randlinien begrenzten Durchschnittsformen, reichlich durchzogen von einem einzigen System paralleler Längsrisse. Die Schnitte aus der orthodiagonalen Zone mit gerader Auslöschung erweisen im konvergenten Licht durch die Axen- und Bisektrix-Austritte, daß die optische Axenebene senkrecht zur Längsrichtung und Spaltbarkeit im Klinopinakoid {010} liegt; charakteristisch ist, daß parallel der optischen Axenebene die Interferenzfarben erheblich intensiver sind, als senkrecht zu derselben. Abgerundete vertikale Querschnitte sind sehr selten und trübe. In Schnitten aus der orthodiagonalen Zone wird wohl eine Zwillingsbildung nach $\infty P \infty$ {100} an der verschiedenen Interferenzfarbe der zusammensetzenden Individuen erkannt. Für die weitere Identifizierung

Digitized by Google

des Wollastonits gelangten Vorkommnisse vom Capo di Bove, Oravicza, Auerbach u. a. O. zur Vergleichung. Das Mineral gelatiniert außerordentlich stark mit heißer Salzsäure. Während hier der Wollastonit durchgängig recht frisch ist, zeigt er namentlich in seiner Verbindung mit Granat sehr häufig eine von seinen Längsrissen ausgehende streifige Trübung, wobei dann wohl nur noch einzelne klar gebliebene Stellen hervorscheinen; die trüben Stellen entwickeln Kohlensäure in der Berührung mit Salzsäure.

In diesen Wollastoniteinschlüssen findet sich neben dem Mineral auch etwas recht frischer, optisch unschwer davon zu unterscheidender Orthoklas. — An der Grenze gegen den Einschluß ist der sonst recht plagioklasreiche und relativ grob struierte Basalt als bloßes Augitaggregat ausgebildet, ohne Plagioklas, Olivin oder Magnetit. Diese Augitzone zeigt eigentümliche Farbengegensätze: zuerst entwickelt sich aus dem Basalt ein Aggregat von noch echt basaltischen Augiten, blaßbräunlich und kaum pleochroitisch; nach dem Kontakt zu aber werden die dichtgedrängten Individuen auffallend immer mehr grün, und im direkten Kontakt ist eine ziemlich breite Zone nur der letzteren vorhanden; sie sind ziemlich stark pleochroitisch, gelblichgrün, wenn ihre Vertikalaxe mit dem Nicolhauptschnitt zusammenfällt, rein grün, wenn beide senkrecht stehen. Grüne Augite genau dieser Art liegen auch zwischen den Wollastoniten des Einschlusses, wodurch dessen Ausscheidung aus dem Basaltmagma wahrscheinlich wird.

Außerdem spielt nun aber der Wollastonit noch eine hervorragende Rolle in Verbindung insbesondere mit Granat. Derartige Einschlüsse, welche namentlich der Finkenberg geliefert hat, stellen (in Folge der Trübung des Wollastonits) vielfach sehr fein verworren strahlige oder selbst fast dicht erscheinende lichtgrauliche Massen mit rundlichen Granatflecken dar (von O. Becker, 71, für Feldspat mit Zirkon gehalten), hin und wieder mit einem stecknadelkopfgroßen grasgrünen Augitkorn oder einem braunschwarzen harzglänzenden kleinen Orthit, in ganz seltenen Fällen auch mit einem Quarzkorn. An ihnen, die untereinander recht ähnlich sind, beteiligt sich eine größere Schar von Mineralien; u. d. M. werden im allgemeinen erkannt: 1) Granat; derselbe bildet einerseits, die makroskopischen fleischroten Partien ausmachend, rundliche lockere Aggregate kleiner im Schliff fast farbloser Kriställchen,

Digitized by Google

die sowohl durch ihre zentralen Einschlußhäufchen als durch die Ausfüllung ihrer Interstizien mit dichtem kohlensaurem Kalk von einander abgegrenzt werden. Die einzelnen isotropen Individuen sind zwar meist abgerundet aber doch auch so oft im Durchschnitt achteckig, daß sie wohl als Ikositetraëder zu gelten haben, die Inklusionen ergeben sich sehr häufig als zierliche blaßbräunliche Glaspartikel mit dunklem Bläschen. Andererseits bilden die Granaten größere einheitliche, im Schnitt rundliche und blaßgelbliche Individuen, welche aber zum Teil unter ziemlicher Erhaltung ihrer Umrisse längs der Sprünge in feines Kalkcarbonat umgewandelt sind, in dessen bei gekreuzten Nicols blitzender Masse die isotropen Granatüberreste deutlich eingebettet liegen. 2) Wollastonit, in der geschilderten Beschaffenheit, hier aber ebenfalls vielfach in Kalkcarbonat parallelfaserig zersetzt, doch in der Mitte mit noch frischen Stellen. 3) Zu diesen beiden Hauptgemengteilen gesellt sich manchmal nicht wenig monokliner Pyroxen, in den Schnitten bald diopsidartig grün, bald durch verschiedene Übergänge ins fast Farblose verlaufend, mit ausgezeichnet scharfen Querschnitten; ganz kleine grüne Körnchen desselben sind wohl auch zu selbständigen Häufchen versammelt. 4) Längsschnitte und gut begrenzte Querschnitte von Apatit, zumal am Rande bräunlich oder violettlich staubig. 5) Dunkelumrandeter bräunlicher Orthit in kleinen Körnern, keineswegs selten. 6) Titanit, auch als Zwilling. 7) Ganz spärliche Körnchen von Quarz (Feldspat wurde nicht aufgefunden). 8) In großer Menge feinverteilter staubähnlicher kohlensaurer Kalk; Äderchen desselben sind bisweilen etwas spätig entwickelt, mit zarter mikroskopischer rhomboëdrischer Spaltbarkeit. 9) Außerdem ist noch zweifellos Opal in kleinen Partien vorhanden, ganz farblos, völlig isotrop, vielzersprungen, von Calcitgeäder durchzogen. Sein Dasein ist neben dem reichlichen kohlensauren Kalk verständlich, indem bei der Umwandlung der Kalksilikate Granat und Wollastonit in Carbonate die freiwerdende Kieselsäure sich abschied. — Wo in den Präparaten der Basalt anliegt, ist die Grenze bloß markiert durch eine ganz schmale Zone grünlicher Augitkörnchen und -kriställchen, die zum Basalt, nicht zum Einschluß gehören.

Es erhebt sich nunmehr die Frage, ob diese vorwiegend aus Granat, Wollastonit und Pyroxen bestehenden Massen etwa — worauf Analogien hinzuweisen scheinen — exogene Fragmente

Digitized by Google

von durchbrochenen kontaktmetamorphosierten Kalksteinen, oder ob sie den Urausscheidungen zuzuzählen sind. In Vorkommen und Zusammensetzung haben sie eine recht große Analogie mit den aus vorwiegendem Wollastonit (gleichfalls mit etwas grünem Pyroxen) bestehenden Einschlüssen in der Lava vom Capo di Bove, sowie mit den ebenfalls aus Wollastonit, Fassait, Melanit zusammengesetzten, durch v. Seebach, Hessenberg und Fouqué untersuchten Einschlüssen mit Anhydrit in den Santorinlaven von 1866. Allerdings weicht das äußere Ansehen der Stücke vom Capo di Bove ganz ab, indem diese eine spätige Struktur zeigen mit makroskopisch ausgebildeten Wollastonit-Individuen, während am Finkenberg der Wollastonit in den Dünnschliffen erst mit starker Loupe erkennbar ist. Aber in den Santorinlaven scheinen doch neben den deutlich kristallinischen auch ähnlich makroskopisch ziemlich dichte Aggregate der drei Mineralien vorzukommen.[1]) — Die Einschlüsse von Santorin gelten, wie auch die Wollastonit, Pyroxen und Granat haltenden Auswürflinge des Monte Somma als metamorphosierte Kalksteine; für diejenigen vom Capo di Bove ist dies meines Wissens nicht behauptet worden, auch vom Rath redet hier nur „von fremdartig umhüllten Mineral-Aggregaten".[2]) Die Wollastonit-Aggregate im Phonolith von Oberschaffhausen am Kaiserstuhl werden von vom Rath[3]) für vulkanische Umbildungen aus Kalkstein gehalten, weil den Prismen etwas Kalkspat zwischengeschaltet ist; abgesehen von der möglichen sekundären Natur des letzteren ist dies aber wohl kaum ein schlagendes Argument für den metamorphischen Charakter, weil hinzugefügt wird, daß der die Aggregate umhüllende Phonolith ebenfalls kleine Wollastonite in seinem Gemenge enthält.

Sollten die in Rede stehenden Einschlüsse in dem rheinischen Basalt mit Granat, Wollastonit, Pyroxen metamorphische Kalksteinfragmente sein, so würden sie in dieser Eigenschaft hier ein völliges Unikum darstellen. In der außerordentlich großen und abwechslungsvollen Schar von verschiedenartigen anderen eingeschlossenen Mineralaggregaten gibt es gar kein einziges, welches sich bezüglich seiner Natur alsdann diesen Dingen an die Seite

1) Der „zweite Typus" bei Lacroix (261); s. auch Fouqué, Santorin et ses éruptions. Paris 1878. 206.

2) Zeitschr. d. d. geolog. Gesellsch. XVIII. 1866. 528.

3) Neues Jahrb. f. Mineralogie 1874. 521.

Digitized by Google

stellen ließe. Denn die wollastonitfreien Pyroxen-Granat-Einschlüsse sind, wie S. 146 darzutun versucht wurde, ihrerseits aller Wahrscheinlichkeit nach endogenen Charakters. Schwerlich aber wird man die wollastonithaltigen Massen von den entsprechenden wollastonitfreien genetisch trennen dürfen, in Anbetracht, daß sie beide nicht nur denselben Granat mit Glasinterpositionen führen, sondern weiterhin gleichfalls Pyroxen, Apatit, Quarz, Orthit gemeinsam enthalten. Andererseits sind auch die S. 147 erwähnten fast reinen granatfreien Wollastonit-Einschlüsse vom Ölberg aller Vermutung nach endogener Entstehung.

Für die Deutung als Urausscheidungen und gegen diejenige als metamorphosierte Kalksteine scheint auch noch ins Gewicht zu fallen, daß die granathaltigen Einschlüsse mit und ohne Wollastonit in diesen Gegenden, soweit bekannt, ein gelegentliches Attribut blos des Basalts sind. Wo wie im Siebengebirge und seiner Umgebung Basalte, Trachyte, Andesite auf so engem Raum dicht neben einander versammelt sind, hat man kontaktmetamorphische Einschlüsse solcher oder ähnlicher Art dennoch nie in den vieldurchforschten letzteren beiden Gesteinen gefunden. Nur bei der Annahme, daß innerhalb dieser die betreffenden emporgebrachten Fragmente völlig assimiliert worden seien, könnte daher das Dasein unterirdischer Kalklager füglich supponiert und das Beschränktsein von Abkömmlingen derselben auf den Basalt erklärt werden; daß gerade letzterer ganz allein solche Kalklager durchbrochen haben sollte, ist ebenso unwahrscheinlich. Wenn so bei Erwägung aller Umstände ebenfalls für die wollastonithaltigen Granateinschlüsse die Wahrscheinlichkeit sich zu Gunsten der Ausscheidungsnatur stellen dürfte, so ist auch die Möglichkeit einer Festwerdung des Wollastonits aus Eruptivmagmen mehrfach dargetan worden. Törnebohm bezeichnet ihn im schwedischen Eläolithsyenit von Alnö[1]) als zweifellos primär, da er sich als Einwachsung im Feldspat, Eläolith, Aegirin findet. Nach Machado führt ihn der brasilianische Eläolithsyenit von Poços de Caldas[2]) „eingesprengt in gleichsam schwebenden Krystallen." Für die grobkörnige Nephelinitlava vom Vulkan Dönjo Ngai im Massai-Lande[3]) hält es Mügge „für wahrscheinlicher, daß er wirk-

1) Stockholms Geolog. Fören. Förhandl. VI. 1883. 542.
2) Mineral. u. petrograph. Mitteil. IX. 1888. 339.
3) Neues Jahrb. für Mineral. Beilageb. IV. 1886. 599.

Digitized by Google

lich wie die anderen Gemengteile eine Ausscheidung der Lava ist, unabhängig von Einschlüssen entstanden, so gut wie der kalkreiche Melanit".

Zirkon.

Die weite Verbreitung isolierter Zirkone in den rheinischen Basalten ist altbekannt; unter den Fundpunkten seien besonders hervorgehoben: Jungfernberg (Juffelenberg) auf dem Plateau ö. von Römlinghoven bei Obercassel, Finkenberg (häufig), Ölberg (noch häufiger), Petersberg (ausgezeichnet), Steinringer Berg oder Harperother Kuppe, ö. von Heisterbacherrott (sehr schön und gut geformt), Gierswiese, Unkelstein, Scheidsberg u. a. — Über Form und äußeres Ansehen dieser isolierten Zirkone könnte nur Bekanntes berichtet werden.

Als Schema für das, was u. d. M. zu erblicken ist, mag ein prachtvolles Präparat von Basalt des Finkenbergs dienen, in welchem ein 12 mm langer, 10 mm breiter Zirkonschnitt mitten inne liegt, von blaßbräunlicher Farbe und kaum bemerkbarem Pleochroismus. Der Zirkon ist ganz frei von jeder relativ größeren Interposition, das einzige, was darin bemerkt wird, sind ganz spärliche dunkle außerordentlich kleine fremde Körperchen, welche auch bei stärkster Vergrößerung und bester Beleuchtung nicht sicher erkennen lassen, ob Gasporen oder glasig-schlackige Partikel vorliegen; liquider Natur sind dieselben jedenfalls nicht. Basalt und Zirkon grenzen zur Hauptsache ganz scharf und sozusagen jeder mit seiner normalen Beschaffenheit aneinander. Nur verläuft zwischen beiden, schon im Präparat mit der Loupe als allerzarteste dunkle Linie erkennbar, ein 0,05 mm breiter Streifen einer Substanz, welche u. d. M. im durchfallenden Licht opak dunkelgrau, im auffallenden weißlich und wie zuckerig-körnig aussieht; sehr wahrscheinlich besteht dieselbe aus feinsten Augitteilchen und gehört somit noch zu dem Basalt, nicht zu dem Zirkon. In dem recht breiten Basaltrand, welcher im Präparat den großen Zirkon umgibt, finden sich keine mikroskopischen Individuen des letzteren. Zirkone von kleineren Dimensionen als sie schon mit bloßem Auge oder der Loupe aufgefunden werden können, scheinen, wie es entsprechend beim Sapphir der Fall, völlig vereinzelt und ohne Nachbarschaft zirkonhaltiger Einschlüsse überhaupt nicht vorzukommen. Wer diese isolierten Zirkone im Basalt unbefangen

Digitized by Google

betrachtet, wird ihnen schwerlich eine andere Rolle zuschreiben als den aus dem Magma auskristallisierten Augiten und Olivinen. Dennoch hat man sich vielfach vorgestellt, daß dieselben aus eingeschlossenen fremden zirkonhaltigen Gesteinsfragmenten herstammen, welche zur Hauptsache eingeschmolzen seien, während der resistente Zirkon zurückblieb. Dannenberg leitet (57) den Zirkon aus „dem Granit“ her (eigentlicher Granit mit so beschaffenen und gefärbten Zirkonen ist indessen wohl kaum bekannt), herausgelöst als widerstandsfähigster Gemengteil (23). Nach Lacroix (117) rühren die roten Zirkone des Finkenbergs wahrscheinlich aus einem groben Feldspatgemenge (Quarzfeldspatmassen kennt er von dort sowie vom Petersberg nicht); auch auf S. 568 bekennt er sich zu dieser Anschauung: „le zircon, le corindon, la sillimanite etc. sont toujours intacts; ils constituent le résidu ultime des enclaves fondues et résorbées.“

Nun dürfte zunächst hervorzuheben sein, daß von irgend etwas, was um die isolierten Zirkone abgeschmolzen wäre und ein glasiges oder halbglasiges Produkt gebildet hätte, keine Spur zu entdecken, auch von Dannenberg nicht wahrgenommen ist. Wenn also die Freilegung nicht an einem ganz anderen Orte erfolgt sein sollte, so hätten hier die Zirkone in einer geradezu idealen Reinheit aus den umgebenden, jetzt spurlos verschwundenen Mineralien der supponierten Einschlüsse herauspräpariert worden sein müssen.

Für die in Rede stehende Frage ist es weiterhin von Belang, daß am Finkenberg, wie die neueren Funde erweisen, eine so große Menge silikatischer Einschlüsse gleichmäßig roten Zirkon führt. Massenhaft sitzt er in vielen Feldspataggregaten, nicht minder erscheint er in den Quarzfeldspatmassen, in den Sillimaniten ist er manchmal recht reichlich, selbst in Glimmerknollen sind leuchtend rote Zirkone beobachtet (s. diese). Auch vom Ölberg und aus dem Unkeler Bruch stammen, freilich viel seltener, solche zirkonhaltigen Feldspatmassen mit und ohne Quarz. Wer daher die isolierten Individuen im Basalt als Residuum bei der Einschmelzung exogener Fremdkörper betrachten will, hat jetzt anscheinend Material von wirklich zirkonhaltigen Einschlüssen in Hülle und Fülle zur Verfügung und braucht nicht mehr dessen einstmalige Gegenwart, rein vorauszusetzen. Aber gerade der Nachweis von der fast allgemeinen Verbreitung des Zirkons in namentlich den acideren Einschlüssen sollte bedenklich machen, seinen vereinzelten

Digitized by Google

Kristallen jenen Ursprung zuzuschreiben. Denn es ist mehr als unwahrscheinlich, daß vom Basalt emporgeförderte unterirdische Gesteinsmassen bei aller ihrer sonstigen Verschiedenheit insgesamt durch einen so auffallenden Gehalt an ganz übereinstimmend gefärbtem Zirkon ausgezeichnet gewesen sein sollten. Wenn dieser auch zwar in der Farbe den isolierten Zirkonen gleicht, so spricht doch gegen das Herausgeschmolzensein der letzteren ferner die so vielfach recht scharfe und deutliche kristallographische Begrenzung derselben; denn die Zirkone in den Einschlußmassen erweisen sich umgekehrt ebenso wenig gesetzlich konturiert; außerdem sind auch an ihnen bei weitem niemals so große Dimensionen beobachtet worden, wie sie die isolierten Kristalle gewinnen.

Scheint demnach für die isolierten Zirkone die in Rede stehende Deutung kaum gestützt, ja tatsächlich widerspruchsvoll, so dürfte sich gar keine Schwierigkeit der anderen Annahme entgegenstellen, daß sie Ausscheidungsprodukte sind. In dieser Abhandlung ist wahrscheinlich zu machen getrachtet worden, daß auch jene zirkonführenden Mineralaggregate ihrerseits selbst Urausscheidungen darstellen, und es ist nun leicht zu verstehen, daß, wenn der Gehalt des Basalts an ZrO^2 das Mineral hier in die Zusammensetzung dieser endogenen Massen eingehen liess, derselbe ebenfalls zur Bildung vereinzelter Individuen des Zirkons Veranlassung geben konnte, und umgekehrt. Vielfach werden auch gerade in der Nachbarschaft zirkonhaltiger Feldspateinschlüsse isolierte Kristalle von Zirkon beobachtet.[1]) Wie sollte, darf man fragen, das so reichliche Vorhandensein verschiedenartiger zirkonhaltiger Mineralaggregate in dem Basalt des kleinen Finkenbergs neben den hier so häufigen isolierten Zirkonen anders zu erklären sein, als daß jene Aggregate und diese Individuen ihren gemeinsamen Ursprung aus dem Basalt selbst genommen haben.

---

1) J. Lehmann (10) beschreibt aus dem Basalt von Unkel, wie ein hauptsächlich aus Oligoklas bestehender Einschluß in großer Menge kleine dunkelrote Zirkone enthält und nun dicht neben dem Einschluß ein von diesen letzteren nicht zu unterscheidender isolierter Zirkon liegt. Er argumentiert: Da jener Feldspat keine Ausscheidung ist, so kann auch der isolierte Zirkon nur ein Fremdkörper sein. Ich möchte die Folgerung gerade umgekehrt gestalten: Da der zirkonführende Feldspat eine Ausscheidung ist, so muß auch der isolierte Zirkon eine solche sein.

Digitized by Google

Sapphir.

Das Vorkommen des Sapphirs in den rheinischen Basalten zeigt insofern manche Analogie mit dem des Zirkons, als er einerseits isolierte Individuen bildet, andererseits, wie neuerlich besser bekannt geworden, in verschiedenen selbständigen silikatischen Einschlüssen als integrierender Gemengteil auftritt, in den Feldspataggregaten, den Quarzfeldspataggregaten und den Sillimanitpartien, alles relativ an Al^2O^3 reichen Massen. Als Fundpunkte schöner Kristalle seien genannt: Ölberg, Jungfernberg, Papelsberg, Weilberg, Steinringer Berg, Kuxenberg (ö. von Heisterbacherrott), Unkeler Bruch, Minderberg. Die Form scheint meist die Kombination $OR\{0001\} \cdot \infty P2\{11\bar{2}0\}$ zu sein. Dannenberg erwähnt (25) einen Sapphir vom Ölberg mit einem unregelmäßig begrenzten etwa 2 mm dicken Kern von Magnetkies. In einem schön blauen übererbsendicken Sapphir von da saß rings umschlossen ein lichtgrauer gestreifter Feldspath. — Über die mikroskopische Ausbildungsweise der Sapphire selbst ist den bisherigen Angaben nichts Neues hinzuzufügen. Himmelblau, ganz blaßblau bis farblos, ein bräunliches Gelb sind nicht so selten in demselben Kristallschnitt wolkig-fleckig verteilt; Poren bald recht reichlich, bald spärlicher.

Auch hier ist es bei den isolierten Sapphiren in den beobachteten Fällen normaler Basalt, welcher angrenzt. Einigemal verlief auf der Grenze eine ungemein feine Linie, schwarz im auffallenden und durchfallenden Licht, dabei total impellucid, vermutlich äußerst verdichteter Basalt; unmittelbar daran stößt aber die reine blaue Substanz. Am Rande zeigt sich weder ein Rest abgeschmolzen gewesener Masse, noch eine Einwirkung des Basalts auf den umhüllten Kristall. Insbesondere wurde auch nicht der von Dannenberg (24) angeführte „graublaue bis hellviolette schmale dunkle Saum" beobachtet, welcher zwar zum Sapphir selbst gehöre, aber sich als isotrop erweise und (in schwer verständlicher Weise) als Einwirkung des Magmas auf den Einschluß betrachtet wird. Mit Recht sagt Lacroix (568): „Le corindon est toujours intact". Ganz vereinzelte Sapphire von bloß mikroskopischen Dimensionen werden auch hier vermißt. Präparate sapphirhaltiger Feldspatmassen liegen aber vom Finkenberg vor, bei denen von den blauen Körnern ein großes, welches gerade am Rande des Einschlusses etwas vorsprang, in den umgebenden Basalt hinein

Digitized by Google

zu einzelnen Fragmenten zerbröckelt war, die jetzt durch schmale Basaltstreifen von dem Einschluß getrennt erscheinen.

Auch für den Sapphir erhebt sich die Frage, ob er ein verschont gebliebenes Residuum aus eingeschmolzenen sapphirhaltigen Einschlüssen oder ein Ausscheidungsprodukt ist. Die Behandlung dieser Alternative hat für die erstere Frage viel Verwandtes mit dem, was für den Zirkon angeführt wurde, macht aber insofern für die zweite eine besondere Erwägung erforderlich, als in dem Mineral reine Tonerde vorliegt.

Die erstere Auffassung wird zur Zeit vielfach geteilt; Lacroix erklärt sich (568) z. B. für diese Überbleibseltheorie und speziell werden granitische Einschlüsse für das Herausgeschmolzensein herangezogen; Dannenberg möchte „auf kristalline oder metamorphe Schiefergesteine" zurückgehen, Pohlig hauptsächlich auf Glimmerschiefer. Man sieht, wie weit die Spekulation umhergetastet hat. Die Analogie mit Zirkon ist so schlagend, daß das, was bezüglich dieser Anschauung — und zwar zu deren Ungunsten — für letzteren angeführt wurde, ohne weiteres auch für den Sapphir gilt. Zwar sind Einschlüsse mit Gehalt an kleinen Sapphiren in erheblicher Menge im Finkenberg bekannt geworden, aber diese sind sehr wahrscheinlich selbst Ausscheidungen. Man wird sich schwer entschließen können, das Dasein so vieler unterirdischer Mineralgemenge anzunehmen, die alle mit Sapphir (und Zirkon) ausgestattet sein sollten. So große Sapphire, wie sie isoliert vorkommen, sind auch in solchen Aggregaten nicht gefunden worden.[1])

Überdies wird auch dadurch der Herausschmelzungs-Theorie der Boden entzogen, weil bei dieser Annahme die Unschmelzbarkeit an sich mit der Unlöslichkeit im schmelzenden Magma verwechselt wird.[2]) Der Korund ist zwar als solcher unschmelzbar, würde aber von einem basaltischen Magma, welches sich mit Al^2O^3 zu

---

1) Bemerkenswert ist immerhin, daß am Finkenberg viele sapphirhaltige Einschlüsse vorkommen, aber von dort eigentliche ganz isolierte Sapphire den eifrigsten Sammlern nicht bekannt geworden sind. Vom Standpunkt der Ausschmelzungstheorie ist dies schwer zu begreifen. Wenn auch nicht so scharf ausgesprochen, zeigt sich das Umgekehrte am Ölberg: ganz isolierte Sapphire sind recht häufig, sapphirhaltige Einschlüsse nur ganz spärlich gefunden. Für die Ausscheidungstheorie bereiten derartige Kontraste keine Schwierigkeiten.

2) Zeitschr. f. Kristallogr. XXIV. 1895. 285.

Digitized by Google

sättigen strebt, gerade leicht gelöst werden, wie die Experimente von Morozewicz und Lagorio dargetan haben.

Für die Frage, ob und wie es überhaupt möglich ist, daß Sapphir in den Basalten zur Ausscheidung gelangt, sind vor allem die denkwürdigen experimentellen Studien von Józef Morozewicz[1]) von großem Belang geworden. Der Basalt ist ein mit Tonerde nicht gesättigtes Alumosilikatmagma, welches noch eine gewisse Quantität Al^2O^3 aufnehmen kann, ohne dieselbe in freier Form bei der Kristallisation auszuscheiden. In den mit Al^2O^3 gesättigten Magmen ist das Verhältnis der Basen (K^2O, Na^2O, CaO) zu $Al^2O^3 = 1$, in übersättigten ist das Verhältnis kleiner, in ungesättigten größer als 1. Nur übersättigte Magmen sind fähig, bei der Kristallisation freie Al^2O^3 auszuscheiden, indem bei der Temperaturerniedrigung der Überschuß herausfällt und als Korund kristallisiert. Dies ist aber nur der Fall, wenn das Magma keine großen Mengen von MgO und FeO enthält; sind letztere beiden Stoffe reichlicher vorhanden, so vereinigen sie sich mit einem Teil der Tonerde zu Spinell und bloß der Rest der Tonerde erstarrt zu Korund. Auf die Acidität oder Basicität des Magmas komme es dabei gar nicht an.

Die Kristallisation des Sapphirs aus dem primären Basaltmagma ist demnach, wie Morozewicz mit Recht bemerkt, unmöglich. Um nun zu erklären, wie ein solches mit Al^2O^3 ungesättigtes Magma einen solchen Überschuß von Al^2O^3 gewinnen kann, daß die Ausscheidung der reinen Tonerde oder eines tonerdereichen Silikats (wie etwa Sillimanit) denkbar wird, deutet Morozewicz (77) zwei Wege an, nämlich erstens die Resorption Al^2O^3-reicher Substanzen, die als fremde Einschlüsse in das Magma geraten sind, zweitens eine schlierige Differenzierung des Magmas in chemisch heterogene Partien (welche auch bei dem erstgedachten Vorgang als Folge entstehen würde).

An die Einschmelzung tonerdereicher Fragmente zur Erzeugung von Korund hat man auf anderen Gebieten mehrfach gedacht. Nach L. V. Pirsson[2]) z. B. führt am Yogo Gulch in Montana ein dunkelgraues, vorwiegend aus Biotit und blassem Pyroxen bestehendes gangförmiges basisches Gestein schön kornblumenblaue Sapphire; das Gestein, ursprünglich nicht reich genug

1) Mineral. u. petrogr. Mitteil. XVIII. 1899. 1 ff. Vgl. auch die späteren bestätigenden Angaben von Pratt in Amer. Journ. of sc. (4). VIII. 1899. 227.

2) Amer. Journ. of. sc. (4) IV. 1897. 421.

Digitized by Google

an Al^2O^3 für Ausscheidung derselben, enthalte viele Kalkstein-Einschlüsse von mikroskopischer Kleinheit bis centimetergroß und habe deshalb auch Fragmente der mächtigen unterlagernden Clayshales aufnehmen müssen, welche in dem schmalen Gang resorbiert wurden und Sapphir lieferten. K. Busz[1]) erwähnt, daß sich um Tonschiefereinschlüsse in einer felsitporphyrischen Modifikation des Dartmoor-Granits viele kleine weiße Korundkriställchen angehäuft haben. — Doch mag der Zweifel ausgesprochen werden, ob eine Einschmelzung von Tonschiefer den Al^2O^3-Gehalt auch des Basaltmagmas wirklich bis zur Ausscheidungsfähigkeit von Korund erhöhen kann. Nach den Analysen geht im Tonschiefer (ungeachtet seines Namens) der Al^2O^3-Gehalt nur selten über 20%, beträgt meist nur 14—18%, während er in Basalten durchschnittlich zwischen 15 und 18% liegt, selten auf 12% fällt oder auf 22% steigt. Eine Absorption des von den rheinischen Basalten durchbrochenen devonischen Tonschiefers dürfte also wohl nur wenig Erfolg gehabt haben; tertiärer Ton würde natürlich für den Zweck tauglicher gewesen sein.

M. Bauer glaubt an der allgemeinen Anschauung, daß die Sapphire Resorptionsreste seien, festhalten zu sollen, wenn sich auch „im übrigen die Möglichkeit einer Neubildung von Korundkristallen in einem basaltischen Magma nicht ganz wird leugnen lassen", was nur an ganz besonders tonerdereichen Stellen der Fall sein werde, „vornehmlich da, wo sehr tonerdereiche Mineralien (Feldspat, Sillimanit oder vielleicht eingeschlossener Korund selbst) resorbiert worden sind".[2]) Bauer wird insbesondere veranlaßt, die Frage in jenem Sinne zu beantworten, weil ein Kranz von Spinellkriställchen[3]) nicht selten Korundkörner oder sehr häufig eingeschlossene Feldspatkristalle umlagere; dieser Kranz gilt ihm als Produkt der teilweisen Auflösung des Sapphirs in stark MgO-haltigem Basaltmagma, welches im Kontakt mit Sapphir noch etwas Al^2O^3 aufnahm und so fähig wurde, hier Spinell aus-

---

1) Neues Jahrb. f. Mineral. Beilageb. XIII. 1900. 112. — Vgl. auch J. Szádeczky in Zeitschr. f. Kristallogr. XXXIV. 1901. 709.

2) Neues Jahrb. f. Mineral. 1896. II. 235.

3) Auch v. Lasaulx erwähnt (Zeitschr. f. Krist. X. 1885. 350.) um tiefblauen Korund, „der jedenfalls zu den frühesten Ausscheidungen des Magmas zu rechnen ist", eine Spinellzone. Als Fundpunkt wird angegeben der Basalt von Limperich gegenüber Bonn (?).

Digitized by Google

kristallisieren zu lassen, der sonst dem Basalt fehlt. Gerade weil die MgO-Menge im Magma groß genug sei, um die Entstehung von Spinellen zu veranlassen, würde — in Anbetracht der Regeln von Morozewicz — eine Ausscheidung von Korund in den meisten Basalten nicht erfolgen, selbst wenn das Magma einen dazu genügenden Al^2O^3-Gehalt besäße.

Dem gegenüber möchte zunächst betont werden, daß nach meinen Erfahrungen ein Spinellkranz um Sapphire doch zu den so sehr großen Seltenheiten gehört, daß er kaum in der gedachten Weise gegen die stattgehabte Ausscheidung der reinen Tonerde verwertet werden kann; es ferner auch nicht wahrscheinlich ist, daß bei Gegenwart desselben die Tonerde durch teilweise Auflösung des Sapphirs in dem Magma beschafft worden ist, wenn dieser, wie Bauer annimmt, bei der Resorption benachbarter Mineralien gerade als Rest erhalten bleiben soll. Ein ähnlicher unmittelbarer Verband des Spinells mit einem Al-reichen Mineral, ohne daß der erstere durch Resorption des letzteren entstanden ist, zeigt sich auch beim Sillimanit, dessen inliegender Spinell offenbar mit ihm gleichzeitig kristallisiert ist.

Meiner Erachtung nach besitzt allerdings die Basaltmasse, wie sie jetzt in ihrer Zusammensetzung vorliegt, relativ so viel MgO, daß, wenn man sich selbst das Hineingelangen einer reichlichen Al^2O^3-Menge vorstellt, die Entstehung von Spinell veranlaßt worden, die von Sapphir unterblieben wäre. Aber man würde wohl eben in der Annahme irren, daß in dem ehemaligen Magma ein besonders großer Tonerdegehalt und ein erheblicher Magnesiagehalt auch nur lokal mit einander hätten verbunden sein können, weil eine Absorption von Tonerde durch Einschmelzen daran reichen Materials überhaupt unwahrscheinlich ist.

Ein anderer Weg scheint sich zu zeigen, um einen örtlichen Überschuß von Al^2O^3 entstehen zu lassen: die nachbarliche Ausscheidung davon freier oder daran sehr armer Substanzen. Wo sich das Material der Olivinknollen bildet, welches in seiner Gesamtheit nur 2,4% Al^2O^3 aus dem Magma in Anspruch nimmt, da muß in der Nähe Al^2O^3 in letzterem dermaßen angereichert werden, daß (Sillimanit und) selbst Sapphir kristallisieren kann. Tonerdemineralien sind gewissermaßen das kontrastierende Pendant zu Olivin. Um die Ausscheidung derselben zu verstehen, muß man die Beschaffenheit des Magmas zu rekonstruieren ver-

Digitized by Google

suchen, wie sie nach Ausscheidung größerer Olivinmassen darum vorlag. An solchen Orten wird aber gleichzeitig eine sehr beträchtliche Armut an MgO herrschen, da ein Betrag von nicht weniger als 39% derselben durch das Olivinknollen-Material verbraucht wird. Eine besondere Gelegenheit zur Spinellbildung würde daher auch nicht vorliegen. Geht man von den Olivinknollen aus, so stehen darin MgO und Al^2O^3 in einem polar gegensätzlichen Verhältnis, und derselbe Gegensatz, nur mit umgekehrtem Vorherrschen des einen Stoffes, wird dann auch in dem direkt umgebenden Magma Platz greifen. Vielleicht hängt hiermit auch die auffallende Abwesenheit jeglicher Spur von Cordierit in den rheinischen Basalten insofern zusammen, als dieses Mineral größere Mengen von Tonerde und von Magnesia bedarf, welche eben nicht gleichzeitig zur Verfügung gestanden zu haben scheinen. Ausscheidungen von wirklich MgO-freien Tonerdesilikaten liegen in den Feldspaten vor.

Als Schlußfolgerung aus vorstehenden Ausführungen würde sich ergeben, daß Sapphirbildung bedingt wird durch Ausscheidung von Olivinknollen; aber es muß nicht notwendigerweise auch die letztere immer die erstere im Gefolge haben, weil die örtliche Tonerde-Anreicherung durch magmatische Strömungen rasch wieder abgeschwächt werden kann.

Sillimanit.

Der Sillimanit spielt in den Einschlüssen des Basalts eine recht große Rolle; bekannt ist er seit längerer Zeit in der Form von anscheinend reinen isolierten Partien, aber er beteiligt sich auch, wie neuere Funde dartun, reichlich an Quarzfeldspataggregaten, an Quarzmassen, an Orthoklasaggregaten, seltener an Glimmereinschlüssen; in den Olivin- und Pyroxenknollen scheint das tonerdereiche Mineral jedoch ganz zu fehlen.

Die selbständigen Sillimanitpartien in den rheinischen Basalten (z. B. Weilberg, Jungfernberg, Dollendorfer Hardt, Finkenberg, Unkelstein) wurden ohne Kenntnis ihrer Natur früher Glanzspat genannt (v. Dechen 154); G. vom Rath fand dann 1872, daß an dem Mineral die Spaltfläche mit Perlmutterglanz abstumpft die scharfe Kante eines Prismas von ca. 88¼° und daß die Kombinationskante zwischen Spaltfläche und Prismenfläche ziemlich genau

Digitized by Google

$= 134^{0}7'$. Er hat also ganz richtig gemessen und eben das Prisma $\infty \breve{P}\frac{3}{2}\{230\}$ des Sillimanits sowie die makrodiagonale Spaltfläche vor sich gehabt. Die Analyse der seiner Meinung nach mit etwas Magnetit und Augit verunreinigten Substanz ergab: SiO^2 36,6, Al^2O^3 57,9, Fe^2O^3 4,4, MgO 0,7, CaO 0,8% (100,5). Diese Analyse wird als $Al^2O^3.SiO^2$ gedeutet, da aber die Winkel sich nicht mit Cyanit identifizieren lassen, auch letzterer spez. schwerer sei, so liege hier „ein neuer heteromorpher Zustand der Verbindung $Al^2O^3.SiO^2$ vor". Auffallend ist, daß vom Rath nicht gleich den Glanzspat mit Sillimanit in Verbindung gebracht hat, denn dieser war damals schon seit längerer Zeit vorzüglich durch Des Cloizeaux untersucht worden, welcher neben dem Grundprisma von 111^{0} auch schon das andere von $88^{0}15'$ kannte, das mit der ausgezeichneten Spaltbarkeit jenen (obigen) Winkel von $134^{0}7'$ bilde; allerdings hatte Des Cloizeaux dem Sillimanit die Formel $8\,Al^2O^3.9\,SiO^2$ zugeschrieben. Sandberger bemerkt zuerst[1]), daß der Glanzspat vom Raths Sillimanit sei, nur finden sich in zwei aufeinanderfolgenden Zeilen zwei Druckfehler, indem die Prismenkantenmessung vom Raths als $68^{0}50'$ (statt $88\frac{1}{4}^{0}$) angegeben wird und es anstatt $\infty \breve{P}\frac{3}{2}$ heißen muß $\infty \breve{P}\frac{3}{2}$. Sein Sillimanit von Naurod, welcher nicht isoliert, sondern im Glimmer eines Gneißes eingewachsen war, besaß ein vorherrschendes ∞P in Kombination mit $\infty \breve{P}\frac{3}{2}$. Bleibtreu (501) hat dann die Sache richtig gestellt: er maß den Winkel von ca. 134^{0} zwischen der besten Spaltbarkeit und einem Prisma und erkannte in ihm denjenigen zwischen $\infty \bar{P} \infty\,\{100\}$ und $\infty \breve{P}\frac{3}{2}\{230\} = 134^{0}7\frac{1}{2}'$.

Der Sillimanit bildet in den Basalten selbständige Aggregate bis zu 5 cm Größe, feinstengelig und faserig, nahezu silberweiß mit einem fast dem Diamantglanz genäherten Glasglanz. Bemerkenswert ist der konstante länglich rektanguläre Umriß, mit dem diese Partien in den Handstücken des Basalts erscheinen. Ganz selten werden dieselben fest allseitig vom Basalt umschlossen, in der Regel aber zieht sich um dieselben zunächst ein schmaler weißer Saum matten dichten Carbonats oder auch trüben Opals. Ja es kommt vor, daß sich zwischen der zolllangen Sillimanitpartie und dem Basalt streckenweise eine leere Fuge findet, sodaß erstere in einem Hohlraum des letzteren aufzusitzen scheint, was wohl

1) Jahrb. k. k. geol. R.-Anstalt XXXIII. 1883. 47.

Digitized by Google

darauf hinweist, daß der Einschluß durch Kontraktionsrisse mehr oder weniger isoliert wurde. Dabei ist der halb freie Sillimanit in seltenen Fällen noch von einer dünnen Basalthaut überzogen.

In der vertikalen Zone wurde an den horizontal geführten, mitunter etwas eingekerbten, oder auch abgerundeten fast quadratischen Querschnitten nur das Prisma $\infty \breve{P}\frac{3}{2}$ beobachtet, mit einem wiederholt gemessenen Winkel von ca. 88°. Die ausgezeichnete makrodiagonal verlaufende Spaltbarkeit geht dann natürlich anscheinend brachydiagonal, indem sie den schärferen Prismenwinkel abstumpft, den stumpferen halbiert; sie erzeugt sehr zahlreiche, vermöge der relativ starken Lichtbrechung dunkelrandige Diagonalsprünge. Wenn diese etwas schief stehenden Querschnitte zwischen gekreuzten Nicols in keiner Stellung ganz dunkel werden, so kommt dies wohl daher, daß an den vielen Spaltrissen das Licht zur Interferenz gelangt. Querschnitte ergeben mitunter ein gutes Interferenzbild mit der optischen Axenebene parallel $\infty \bar{P} \infty \{100\}$, kleinem Winkel der optischen Axen. Die schief zur Spaltbarkeit $\infty \bar{P} \infty$ stehenden Vertikalschnitte zeigen parallele Risse; diejenigen ohne letztere, parallel $\infty \bar{P} \infty$, weisen minder intensive Interferenzfarben auf, als die parallel *c* zerspaltenen. Die Vertikalaxe *c*, zugleich spitze Bisektrix, entspricht der kleinsten Elastizität, Doppelbrechung positiv. Die terminale Ausbildung ist ganz undeutlich. — In den Präparaten nach der Längsausdehnung der Sillimanitpartien gewahrt man zwischen den größeren strahligen Individuen da wo sie parallel verlaufen oder etwas divergieren, meist ein feines Aggregat von mehr oder weniger parallelen Sillimanitfasern, welches gewissermaßen die Zwischenräume ausfüllt und dessen Faserung unter irgend einem Winkel auf die Längserstreckung der kräftigeren Individuen stößt.

Diese weißen Sillimanitaggregate haben sich nun in neueren Vorkommnissen als die Träger mancher anderer Mineralien ergeben, insbesondere von Spinell, Sapphir und Zirkon, und der Finkenberg bietet hierfür eine große Anzahl von Varietäten, von denen nur einige hervorgehoben seien: Zolllange Sillimanitpartien stecken ganz voll von kleinen roten Zirkonen, die dem bloßen Auge erkennbar sind. In anderen ist Spinell reichlicher vertreten als scharfe, lichter oder dunkler rötlichbraun durchscheinende isotrope Oktaëderchen (von einer manchmal an Perowskit erinnernden Farbe), als nach der Drehungsaxe verkürzte Zwillinge und

Digitized by Google

als weniger regelmäßig konturierte Körnchen, bis 0,05 mm dick, stellenweise massenhaft gehäuft. Begleitet werden die Spinelle von blaß- aber deutlich blauen gedrungenen Säulchen von Sapphir, dunkelumrandet, bis 0,18 mm lang. Spinell und Sapphir liegen weniger in den größeren Sillimanit-Individuen, viel reichlicher in den faserigen Intersertalpartien. Lokal sind Magnetitkörner, schwarz und ganz opak vertreten. Übrigens führen auch diese Sillimanitaggregate schöne makroskopische Sapphire. Um solche Einschlüsse herum pflegen dann innerhalb des Basalts auch vereinzelte kleine Sillimanite, rings umgeben von sehr vielen scharfen Spinellchen zu liegen, welche sonst selbständig in dem Basalt fehlen. Weiterhin gewahrt man mitten im Basalt nahe der Sillimanitgrenze noch kleine Sapphire. Am Rande der Aggregate ist fein struierte Basaltmasse zwischen die locker verbundenen Sillimanitprismen auf kurze Erstreckung hin eingedrungen, und in ihr erscheinen ebenfalls bräunliche Spinell-Oktaëderchen ausgeschieden Man wird hier schwerlich zu einer anderen Anschauung gelangen können, als daß die drei tonerdereichen Mineralien Sillimanit, Sapphir, Spinell gleichmäßig aus dem Basalt festgeworden sind. — Von anderen Mineralien ist in diesen weißen Sillimanitaggregaten noch Magnetkies (auch am Weilberg vorkommend) zu erwähnen; vielleicht besteht ein Teil der fein verteilten schwarzen Partikelchen aus Graphit.

Neben diesen silberglänzenden Sillimanitpartien sind andere derbe, mehr rundlich umgrenzte selbständige Partien des Minerals von ausgesprochen schmutzig violettlicher Farbe und ganz matter Beschaffenheit sehr verbreitet, welche man makroskopisch kaum hierher stellen würde. Sie setzen sich zusammen aus unregelmäßig mit einander verwobenen Systemen mikroskopisch feiner, eisblumenartig auseinanderlaufender Faserbüschel von Sillimanit, innig durchwachsen von Tausenden und aber Tausenden, die Farbe bedingenden Oktaëderchen und Körnchen von Spinell, die dickeren sehr hübsch violett, die winzigsten, selbst bei stärkster Vergrößerung nur punktähnlichen, ganz blaß. Stellenweise sind die Spinelle zu fast kompakten Haufen zusammengeschart, die in den Präparaten dem bloßen Auge als schwarze Fleckchen hervortreten. Es kann nicht fraglich sein, daß beide Mineralien gleichzeitig entstanden sind. Örtlich wird das sillimanitische Faseraggregat etwas lockerer, und dann gewahrt man wohl als spär-

Digitized by Google

lichen Untergrund für die Nädelchen eine wasserklare, schwach polarisierende Substanz von undefinierbarer Natur. Bisweilen wechseln auch in einem solchen Aggregat beide Farben, weißlich und violettlich, in ziemlich scharf begrenzten länglichen Flecken ab. Adern basaltoider feldspatreicher Masse, erzarm und fast augitfrei, ziehen hindurch, an den Rändern prägnant begrenzt von einer linearen dunklen Zeile dicht einander gereihter Spinellchen. — Außer diesen fast ganz reinen violettlichen Spinell-Sillimanitaggregaten, in denen, wie es scheint, kein Sapphir vorkommt, gibt es auch andere, nicht violette, trüb graulichweiße verworrene sillimanitische Faserbüschel-Massen, fast spinellfrei, welche reichlich von wasserhellen rissigen Quarzkörnern durchwachsen sind. Alle erwähnten Einschlüsse bieten an ihren Rändern nichts dar, was auf eine Abschmelzung umgebender Materialien hinwiese.

Doch hat hiermit die Verbreitung des Sillimanits noch nicht ihr Ende, und es ist hervorzuheben, daß das Mineral, abgesehen von diesen selbständigen Partien, auch als büscheliger weißer oder violettlicher Gemengteil der Quarzfeldspat-Aggregate eine beträchtliche Rolle spielt sowie den Quarzaggregaten nicht fremd ist, ferner auch in einer reinen Orthoklasmasse gefunden wurde und mikroskopisch in Glimmeraggregaten auftritt.

Die selbständigen Sillimanitpartien sind bis jetzt wohl stets als exogene Einschlüsse, herstammend aus fremden sillimanithaltigen Gesteinsfragmenten, betrachtet worden. Den Sillimanit des Ölbergs hält LASPEYRES (341) für einen „Einschluß aus durchbrochenen Gesteinen"; SCHOTTLER nennt (589) den aus der Lava des Ettringer Bellerbergs sicher exogen; nach DANNENBERG, welchem nur ganz spärliches Material vorlag, stammt er aus kristallinen oder metamorphen Schiefermassen (57); auch LACROIX betrachtet ihn (568) als „résidu ultime des enclaves fondues et résorbées". BLEIBTREU glaubt (501), daß der Sillimanit durch Schmelzen aus granitischen Einschlüssen isoliert sei; trotz seiner großen Widerstandsfähigkeit habe er selbst auch bisweilen „eine teilweise Einschmelzung erlitten und haben sich an den veränderten Stellen zahllose kleinste Spinelloktaëder gebildet". In meinen Präparaten ist indessen um die letzteren von irgend einer Anschmelzung oder Veränderung des Sillimanits gar nichts zu beobachten, und die Oktaëder machen durchaus den Eindruck gleichzeitiger Bildungen, ebenso wie die umschlossenen (BLEIBTREU nicht bekannt gewesenen)

Digitized by Google

Zirkone und Sapphire, die nicht als Neubildungsprodukte aus Sillimanit gelten können.

Nach meinen Wahrnehmungen kann ich in den Sillimanitpartien nur Urausscheidungen erkennen, wie in den Sapphiren. Während sich aus dem undifferenzierten Magma das Mineral ebensowenig wird ausscheiden können, wie Korund, dürfte es auch hier die Festwerdung benachbarter Olivinknollen gewesen sein, wodurch örtlich ausreichend hoher Tonerdegehalt beschafft wurde.

Als Überbleibsel aus eingeschlossenen sillimanitführenden Felsarten, deren Vertreter sich auch jetzt noch nebenher im Basalt finden, können die großen Partien nicht gedeutet werden. Es kommen zwar in ihrer Begleitung Quarzfeldspat-Aggregate mit Gehalt an Sillimanit vor, aber letzteres Mineral bildet in diesen nur winzige Knöllchen und Striemchen, während die selbständigen Sillimanite den oben erwähnten erheblichen Umfang erreichen und bei der zu Grunde gelegten Vorstellung früher natürlich noch viel größer gewesen sein müßten. Auch stimmt die Struktur gar nicht überein: letztere Sillimanitpartien sind makroskopisch grob parallelstrahlig, die an jenem Aggregat sich beteiligenden ganz fein verworren-filzig. Wenn also eine Ableitung aus den Quarzfeldspat-Aggregaten (die übrigens vermutlich selbst Urausscheidungen darstellen) nicht angängig erscheint, so müßte man, wie es geschehen, sie auf ganz andere exogene Sillimanitgesteine zurückführen, welche als solche mit ihren übrigen Gemengteilen jetzt vollständig resorbiert wären. Felsarten mit so umfangreichen, parallelstrahligen und dazu quarzfreien Sillimanitpartien sind aber wohl nicht bekannt, geschweige solche, in denen der Sillimanit, wie es hier der Fall, reichlich Sapphir und Zirkon führt. Es ist gerade das innige Durchwachsensein mit diesen gleichzeitig gebildeten Mineralien, welche selbst Ausscheidungen des Basalts sind, wodurch auch die Sillimanitpartien in dieselbe Ursprungskategorie verwiesen werden. Dadurch fällt aber auch umgekehrt wieder ein gewisses Licht auf die Entstehung der Quarzfeldspat-Aggregate.

Feldspatmassen.

An dem vorliegenden quarzfreien Material, welches weniger aus einem Individuum bestehende Partien als vielmehr Aggregate von rundlich oder eckig konturierten Körnern bildet, beteiligen

Digitized by Google

sich im allgemeinen dreierlei Feldspate: Orthoklas, von welchem auch größere einheitliche fragmentare Stücke, sehr frisch und glänzend, aber doch nur selten von sanidinartigem Habitus am Ölberg, Finkenberg, Minderberg vorkommen. Spaltblättchen parallel OP{001} ergeben völlig gerade Auslöschung, solche parallel $\infty P \infty$ {010} eine Auslöschungsschiefe von etwas über 6° gegen die Spaltrisse und den Austritt einer positiven Bisektrix. — Plagioklas; auch von diesem finden sich selbständige größere Partien (meist kleiner als die des Orthoklases), die schon unter der Loupe eine sehr vorzügliche feine Streifung nach dem Albit- und bisweilen daneben Durchquerungen nach dem Periklingesetz zeigen. Die Lamellen der Schnitte genau parallel OP lassen bald gar keine, bald nur eine minimale Auslöschungsschiefe erkennen. Über weiteres optisches Verhalten s. die Plagioklase der Quarzfeldspat-Aggregate. Einigemale gaben sich deutliche Zwillinge gestreiften Plagioklases nach dem Karlsbader Gesetz in den Aggregaten kund. Mikroklin, einmal von Dannenberg (29) vom Ölberg citiert, wurde nicht gefunden. — Die Aggregate enthalten mitunter noch einen dritten Feldspat, der sich vor den beiden anderen durch seine auffallende Armut an Poren auszeichnet; er besitzt ebenfalls einen Aufbau aus Zwillingslamellen, der aber äußerst fein, oft undeutlich und nur bei günstiger Beleuchtung zu erkennen ist. Spaltblättchen lassen sich nicht gewinnen, auch ist in den Präparaten die Orientierung der Auslöschung nicht sicher zu bestimmen. Die Doppelbrechung scheint um ein weniges stärker zu sein, als bei dem begleitenden Orthoklas. Die ganze Erscheinungsweise deutet aber auf Kalinatronfeldspat, Natronmikroklin (Parorthoklas, Anorthoklas), zu welchem auch der mehrfach besprochene Feldspat aus dem Basalt des Hohenhagen bei Dransfeld, „ellipsoidische Stücke von der Größe eines Hühnereies“ neuerdings gestellt zu werden pflegt.

Eigentümlicherweise wurde an keinem der vielen Feldspate jemals der sonst bei eigentlichen Gesteinsgemengteilen so verbreitete Zonenbau beobachtet, weder im gewöhnlichen Licht durch lagenweise abweichenden Gehalt an Interpositionen oder ähnliche Erscheinungen, noch im polarisierten durch markierte oder verschwimmende Gegensätze der Auslöschung.

Weniger die einheitlichen Feldspateinschlüsse als namentlich die Individuen der Aggregate enthalten in der Regel eine sehr

Digitized by Google

große Menge von Interpositionen, welche sie vielfach heller- oder selbst dunkelgrau erscheinen lassen. Es sind vor allem mitunter enorm reichliche rundliche oder schlauchförmige Gasporen, selten in der Gestalt negativer Kristalle, dann kleine Glaskörner, ferner schlackenähnlich devitrifizierte Partikel und noch andere Substanzen, deren Kleinheit eine Bestimmung nicht zuläßt. Die Orthoklase sind häufig sehr zerborsten.

In früheren Ausführungen ist mannigfach von Kontakterscheinungen die Rede, die sich beim Feldspat an der Basaltgrenze zeigen. Bleibtreu beschreibt (497) einen Einschmelzungssaum und neugebildete Kristallisationen, wobei aber weder eine direkte Schmelzung noch eine Auflösung in einem flüssigen Magma angenommen, sondern die Einschmelzung der Wirkung von Dämpfen zugesprochen wird; auch beim Plagioklas finde eine Wiederergänzung oder Wiedererneuerung der angeschmolzenen Kristalle statt. Lacroix erwähnt bekanntlich ebenfalls derartige Erscheinungen: Verbreiterung der Spaltrichtungen und Auseinanderlösung zu kleinen rektangulären Partikelchen, welche allmählich zu farblosem Glase schmelzen; Herausbildung von Skelettformen mit sägeähnlichen Rändern durch Anschmelzung; Neubildung von Feldspat aus dem Schmelzfluß durch Absatz von oft viel klarerer, übereinstimmend orientierter Substanz auf vorhandenen alten Resten und zwar meist in der sehr verschiedenartigen Gestalt von Stäben, Gabeln, Zähnen; schließlich Entstehung selbständiger Feldspatkrstalle, meist verlängert nach der Kante $P : M$, bisweilen innen hohl mit quadratischen Durchschnitten, auch von trichter- oder kassettenförmiger Ausbildung. Bei Rinne finden sich gleichfalls etliche Angaben dieser Art (z. B. I. 88), die Berichte von M. Bauer scheinen aber nichts darüber zu enthalten. Meinerseits kann ich nur anführen, daß, abgesehen von den überhaupt sozusagen ganz neu erstarrten eigentlichen Einschmelzungsprodukten, die zahlreichen Präparate, insbesondere auch die vom Finkenberg nur äußerst selten etwas darbieten, was jenen Wahrnehmungen entspricht, und daß das Angrenzen normalen Basalts an normal beschaffenen Feldspat die Regel bildet, auch wenn makroskopisch die Grenze zwischen beiden etwas verwischt erscheinen sollte; vgl. auch die Quarzfeldspat-Aggregate. Einigemal wurde allerdings bemerkt, daß sich isolierte Individuen des basaltischen Augits an der Grenze auch innerhalb des Feldspats

Digitized by Google

finden, was genetisch von Bedeutung ist. — Etwas poröse und auf der einen Seite durch einen leeren Raum vom Basalt getrennte Feldspatpartien vom Ölberg waren auf dieser narbigen Oberfläche mit zierlichen Tridymiten, auch Drillingen besetzt (vgl. M. BAUER, 254).

Die Feldspataggregate pflegen reichlich von feinen Basaltinterstizien durchzogen zu werden, welche in den Präparaten wie ein Netz erscheinen, aber mehr längs der Grenzen der Individuen verlaufen als durch dieselben hindurchsetzen. Wenn dieselben, senkrecht stehend, nur wie zarte dunkle Linien aussehen, so wird da, wo sie, schief geschnitten, über den klaren Feldspat breit hinweggreifen, ihre basaltische Natur zweifellos erkannt. Sie sind oft so deutlich struiert, daß selbst die kleinen Olivine scharf darin hervortreten, die Plagioklase vielfach als kurze Rechtecke ausgebildet mit einem dunklen Kern von konformer Umgrenzung, die Augite sehr spärlich. In einigen besonders plagioklasreichen Präparaten ist die Zwischensubstanz mehr basaltoidischer Natur mit viel Magnetit. Daneben scheinen rundliche wirkliche Einschlüsse von Basalt vorzukommen, welche nicht Querschnitte von Ramifikationen sind. — Auch um die Feldspataggregate finden sich schmale carbonaterfüllte Kontraktionsrisse, welche teils auf der Grenze zwischen Feldspat und Basalt, streckenweise bald durch den ersteren bald durch den letzteren verlaufen.

Die reinen Feldspataggregate, in denen im ganzen der Orthoklas vor dem Plagioklas zu herrschen scheint, geben zu keinen weiteren Bemerkungen Anlaß. Bevor aber ihr Ursprung zur Erörterung gelangt, ist es auf Grund neuer Funde erforderlich, vielverbreitete Einschlüsse dieser Art zu besprechen, die durch das Dasein anderer Gemengteile ausgezeichnet und in genetischer Hinsicht noch von Belang sind.

Vor allem ist der überaus reichliche und früher wohl gar nicht bekannt gewordene Zirkongehalt dieser Feldspataggregate hervorzuheben. Es gibt am Finkenberg (in beträchtlicher Anzahl), auch am Ölberg (spärlicher) hellgrauliche Massen dieser Art, die auf 1 Quadratzoll Oberfläche viele Dutzende makroskopisch erkennbarer leuchtend roter Zirkonchen enthalten, ein Vorkommen wohl ohne Analogie unter anstehendem Gestein. Namentlich beim Pulvern wird man inne, wie viel Zirkon sich daran beteiligt. Diese Zirkone, zwischen den Feldspaten und innerhalb derselben gelegen, messen bis 2 mm in der Länge und sind bisweilen sehr

Digitized by Google

exakt als $\infty P\infty$. P kristallisiert; die Dimensionen der kleineren scheinen nicht unter 0,22 mm hinabzusinken. Mitunter zeigt sich gestörte Kristallbildung, indem ein Individuum nur zur einen wohlgeformten Hälfte vorhanden ist und an dem Feldspat abschneidet. Allerfeinste Poren ziehen schwarmartig durch die rötlich gelbe, fleckenweise fast farblose Substanz, aber deutliche Glaseinschlüsse sind gelegentlich ebenfalls erkennbar. Daß der Zirkon hier innerhalb des Feldspats mit ihm entstanden ist, muß als die einzig zulässige Annahme gelten. Nicht unwichtig dürfte es nun sein, daß ebenfalls inmitten des im Präparat angrenzenden Basalts isolierte identische Zirkone gelegen sind, z. B. in einem Falle ein 2 mm großer schöner Kristall in einem Abstand von 1,5 mm von der scharfen Grenze des Feldspateinschlusses. Rings um ihn her verhält sich der Basalt ganz normal, von einer Herausschmelzung zeigt sich nichts; der Zirkon im Basalt ist nicht etwa ein Überbleibsel aus zergangenem Feldspataggregat, hier wohl auch nicht mechanisch herausgebröckelt, sondern kann nur als eine Ausscheidung aus der Basaltmasse gelten, da entstanden, wo auch mit der Feldspatmasse Zirkon kristallisierte. Beispiele solchen Vorkommens wurden häufig beobachtet. Mitunter finden sich zwischen den Feldspaten auch geringe Mengen blaßgrünlichbraunen Augits und etwas Magnetit, der die Nähe des Zirkons liebt und dann als jüngere Bildung dessen Kristallumrisse abformt. Im allgemeinen scheint der Zirkon in diesen feldspatigen Massen viel reichlicher vorhanden als in den Quarzfeldspat-Einschlüssen.

In diesen zirkonreichen Feldspateinschlüssen wurde mehrfach Orthit beobachtet, welcher makroskopisch bis fast 2 mm große Körnchen bildet, von rundlich gewölbter Oberfläche, bräunlich eisenschwarz bis pechschwarz, metallisch fettglänzend mit muscheligem Bruch und der Härte 6 oder etwas darüber. Auf den ersten Blick könnte man ihn mit sog. schlackigem titanhaltigem Magneteisen verwechseln. In den Präparaten zeigt das Mineral bei bräunlicher Farbe hohe Lichtbrechung aber nur schwache Doppelbrechung. Die irregulär konturierten Schnitte sind von dunklen Spalten durchzogen, die bisweilen etwas unregelmäßig, oft aber auch auf längere Strecken hin geradgezogen und parallel verlaufen. Ein Teil der Schnitte löscht genau parallel und senkrecht zu diesen Sprüngen aus, und unter der Annahme, daß

letztere der Basis des Orthits entsprechen, würden diese Schnitte parallel der Orthodiagonale gehen. Damit steht im Einklang, daß andere Schnitte gegen diese Rißsysteme schief auslöschen, und in ihnen würden klinopinakoidale vorliegen. Da OP : c = ca 65° und eine der Bisektricen (a) gegen c = ca 36° im spitzen Winkel β geneigt ist, so würde die Auslöschung auf $\infty P\infty$ mit der Projektion der basischen Spaltrisse ca 29° bilden, während mehrfache Messungen 28° ergaben. Daß die Auslöschungen etwas indistinkt sind, deutet auf starke Dispersion. Auf dem Orthopinakoid zeigt sich, soweit erkennbar, ein normaler Bisektricen-Austritt (opt. Axenebene $\infty P\infty$). Auch der Pleochroismus zwischen kastanienbraun (der parallel zur Orthodiagonale schwingende Strahl) und gelblichbraun stimmt mit Orthit überein. Zwillingsbildung ist bisweilen vorhanden. Die herausgelesenen Körner werden, fein gepulvert, schon bei mäßiger Erwärmung binnen wenigen Augenblicken von Salzsäure völlig unter Gallertbildung zersetzt. Der Orthit umschließt irreguläre Magnetitkörner, auch kleine Zirkone; hin und wieder tritt in derartigen Einschlüssen auch spärlich Apatit auf.

In ganz ähnlicher Weise wie Zirkon, nur nicht so reichlich verteilt, kommt auch Sapphir in den Feldspateinschlüssen vor. Vom Finkenberg z. B. stammt eine graue körnige Feldspatpartie mit zwei milchig blauen Sapphiren, der eine 4, der andere 2 mm groß, ja es sind dort hierher gehörige Einschlüsse gefunden worden, welche hübsch anzublicken, Zirkon und Sapphir makroskopisch neben einander besitzen. Es scheint von Belang und nicht zufällig, daß sowohl das Alkalitonerde-Silikat der Feldspataggregate als das in den chemischen Grundstoffen möglichst nahe verwandte Tonerde-Silikat der Sillimanitaggregate übereinstimmend von rotem Zirkon und blauem Sapphir durchwachsen werden, was wohl jedenfalls mindestens auf eine Ähnlichkeit des Ursprungs verweist, und andererseits die Annahme, es handle sich hier um fragmentare Teile der eigentlichen Gesteinswelt als unwahrscheinlich bedünken läßt.

Ein dunkelgrauer pyroxenreicher quarzfreier Feldspateinschluß aus dem Finkenberg besteht aus Orthoklas und feinstgestreiftem frischem und porenfreiem Plagioklas, zwischen denen sich kein Basaltgeäder hindurchzieht, aus viel malakolithähnlichem Augit und außerdem bis 1,5 cm großen Spinellkörnern, im Dünnschliff

Digitized by Google

schön grün, völlig isotrop, und wohl eher dem Pleonast als dem Picotit angehörig. Die zackig verästelten Formen liegen meist eingekeilt zwischen den anderen Gemengteilen, und mehrfache Einschließungen von Augit im Pleonast zeigen, daß hier der letztere jünger ist als ersterer. — Weitere Feldspateinschlüsse von dort u. a. Orten sind reichlich mit Sillimanit erfüllt. Bei einem trüblich weißen erscheint u. d. M. recht klarer und frischer Orthoklas (fast kein Plagioklas, kein Quarz), und die Trübheit seiner Masse, welche im Präparat teilweise verloren geht, wird durch eine große Menge von Sillimanitbüscheln hervorgebracht. Die feinen Nadeln mit hübschen Querschnitten verweben sich bald zu dichtem Filz, bald sind die im Feldspat liegenden Büschel lockerer; manche Nadeln sind ganz vereinzelt und so lang, daß sie durch mehrere benachbarte Feldspatindividuen hindurchgehen. Einschluß und Basalt grenzen ohne jede Kontakterscheinung an einander. — Über den Gehalt der Feldspatmassen an Magnetkies s. diesen; solche Vorkommnisse führen auch wohl etwas fettglänzenden Apatit. — Nach O. Becker (73) sitzt im Feldspat auch Graphit in hexagonalen Täfelchen.

Hier sei auch der Einschlüsse vom N.-O.-Abhange des Petersbergs oberhalb Heisterbach gedacht, denen, nachdem v. Dechen (175), Möhl, Bleibtreu (504) und Lacroix (118) sich damit beschäftigt haben, endlich durch Laspeyres (294) erst eine richtige Beschreibung und Deutung zu Teil geworden ist. Es sind bis kopfgroße Massen, in der Mitte grob, nach außen hin immer feiner struiert, so daß dort ein allmählicher Verlauf in den normalen Basalt stattfindet, wie schon v. Dechen hervorhebt. Die Gemengteile sind dicktafelige bis 8 mm große Feldspate (Plagioklas zurücktretend) und bis 6 mm lange Augite in diabasähnlichem Gefüge; u. d. M. erkennt man noch Hornblende oder Olivin (anscheinend sich ersetzend), Apatit, Magnetit, Titaneisen. Der mikroskopische Übergang am Rande erfolgt durch Abnahme des Feldspats und Überwiegen des Augits und Magnetits. Mit vollem Recht scheint Laspeyres ein Zweifel an der konkretionären Bildungsweise ausgeschlossen. Bezeichnend ist, wie Bleibtreu (504) sich die Entstehung dieser Einschlüsse zurechtlegte: die jetzige Beschaffenheit verweise entschieden nicht auf ein in der Tiefe anstehendes Gestein, auch sei keine Spur einer Einschmelzung an den Gemengteilen nachzuweisen, gleichfalls keine scharfe Grenze nach dem Basalt zu;

Digitized by Google

daraus ergebe sich mit größter Bestimmtheit eine Erstarrung aus glutflüssigem Zustande. Gleichwohl aber wird angenommen, daß es sich dennoch nicht um Ausscheidungen aus dem Basalt selbst handle, denen Bleibtreu hier wie sonst die Anerkennung versagt, sondern um vollständig umgeschmolzene ganz fremde Einschlüsse. Lacroix rechnet die Vorkommnisse, von denen er Tafel III, Fig. 2 eine Abbildung gibt, zu den enallogenen Enklaven und nennt sie, erst recht auffallenderweise „roche granitique résorbée". Es sind zweifellose Ausscheidungen.

Schließlich darf hier ein recht eigentümlicher, dunkelgrauer sehr feinkörniger Einschluß aus dem Basalt des Petersbergs nicht unerwähnt bleiben, der vielleicht den vorigen verwandt ist. Im Präparat besteht derselbe größtenteils aus farblosem Orthoklas mit etwas Plagioklas, beide außerordentlich frisch, ganz kompakt und ohne Gasporen, auch ohne jene dunkeln staubähnlichen Interpositionen, die in anderen Feldspaten so große Rolle spielen. Quarz fehlt völlig. An Menge ganz zurückstehend, aber durch die Farbe kräftig hervortretend, liegen nun noch in diesem klaren Feldspataggregat drei weitere Gemengteile: a) ein monokliner Augit, ganz blaß gelblichbraun im Schnitt und kaum pleochroitisch, in der Prismenzone sehr scharf, an den Enden aber unregelmäßig begrenzt, meist in Form langer und relativ dünner Säulen und Nadeln, welche letztere wohl auch pinselförmig zusammentreten; b) eine bräunliche stark pleochroitische Hornblende in ausgezeichneten Schnitten, in den vertikalen mit einer maximalen Auslöschungsschiefe von 26°; c) ein isoliert nur in Gestalt dünner Nadeln und Borsten auftretender, aber mehrfach büschelig verwachsener, intensiv grüner Aegirin, anscheinend parallel der Längsaxe auslöschend; smaragdgrün bei Parallelismus, gelblichgrün bei Rechtwinkeligkeit von Vertikalaxe und Nicolhauptschnitt. Diese drei gefärbten Mineralien sind sehr häufig mit einander verwachsen, und zwar ist zumal der Augit a oft von dem Aegirin c teilweise oder ganz umwachsen; letzterer legt sich auch an die Hornblende b an oder umwächst dieselbe; ferner wird a wohl von b umrindet, aber niemals c von a oder b. — Eine weitere Eigentümlichkeit besteht darin, daß der blaßbräunliche Augit a (niemals b oder c) mit dem Orthoklas eine förmliche schriftgranitische Verbindung eingeht. Nicht nur liegen streckenweise die kleinen Augitquerschnitte alle parallel im Feldspat, sondern es kommt auch (analog

Digitized by Google

wie beim Quarz) in äußerst zierlicher Weise vor, daß die Augite bloß teilweise vorhandene Schalen bilden, in welche der Feldspat hineingreift, oder rings geschlossene Schalen, die dann von letzterem ausgefüllt werden. Ein sehr langes nur als Schale ausgebildetes Augitprisma, welches durch drei Feldspatindividuen hindurchgriff, war im Innern auch an den entsprechenden Stellen von dreierlei verschieden orientiertem Feldspat erfüllt. — Betrachtet man das Präparat u. d. M. ohne den angrenzenden Basalt, so sieht es, mit seinem Mangel an Poren und Basaltgeäder, aus, wie ein fremder Gesteinseinschluß, wenngleich es schwer fallen würde, ein anstehend bekanntes Gesteinsanalogon zu finden. Im Handstück jedoch macht die Masse ganz den Eindruck einer Ausscheidung. Bemerkenswert ist zunächst, daß innerhalb derselben, ungefähr 3 cm von der Basaltgrenze entfernt, eine haselnußdicke Basaltpartie liegt, von welcher man sich schwerlich vorzustellen vermag, daß und wie sie mit dem noch umgebenden Basalt zusammenhängen könnte. An einem Präparat aber, welches auch den angrenzenden Basalt aufweist, wird die Ausscheidungsnatur durch zwei Erscheinungen in hohem Grade wahrscheinlich gemacht. Erstens nämlich ziehen sich charakteristische braungelbe Augite des Basalts, kurze gedrungene Säulchen und an den Enden kristallographisch begrenzt, eine gute Strecke weit in das Feldspataggregat des Einschlusses hinein und werden hier ganz allmählich nach dem Innern zu durch die blassen spießigen, oben und unten ganz irregulär endenden Augite, die für letzteren bezeichnend sind, ersetzt. Zweitens ist die Grenze zwischen Einschluß und Basalt überhaupt ganz unscharf: die Feldspate des ersteren wachsen förmlich aus dem letzteren heraus, oder die Feldspate verlieren sich umgekehrt aus dem Einschluß in den Basalt hinein.

In allen zur Untersuchung gelangten Feldspateinschlüssen wurde nie eine Beteiligung von Glimmer wahrgenommen, so daß hier etwas ganz Ähnliches obwaltet, wie bei den Quarzfeldspat-Aggregaten.

Die Beurteilung der eingeschlossenen Stücke und Aggregate von Feldspat hat sich in der letzten Zeit nur zum Teil der Auffassung derselben als Ausscheidungsprodukte des Basalts zugewandt. Bleibtreu scheint dieselben noch für exogene Fragmente zu halten, Dannenberg bringt sie (57) mit einem granitischen Gestein in Verbindung. Aber schon Rinne möchte bis 7 cm lange Feldspat-

Digitized by Google

massen im Basalt des Hohenbergs bei Bühne eher für „basaltogene Bildungen“ als für fremde Einschlüsse erachten, und auch in den Feldspaten des Hohen Hagen bei Göttingen füglich protogene Ausscheidungen erblicken (I. 33. 39). Später rechnet er Plagioklasmassen mit monoklinen und rhombischen Pyroxenen auch mit Hornblende, allerdings „mit Reserve“ zu den protogenen Bildungen (II. 77). SCHOTTLER betrachtet Augit-Plagioklaseinschlüsse in der Lava des Ettringer Bellerbergs wiederum als ganz fremde Materialien (610). M. BAUER bespricht die Feldspatpartien vom Stempel bei Marburg unter der Rubrik „Einschlüsse“ zusammen mit Kalkstein und Sandstein, in einem der Feldspate vermutet er das Bruchstück einer in der Tiefe anstehenden Eläolithsyenitmasse (254), die Frage nach der eventuellen Ausscheidungsnatur wird gar nicht erörtert. LACROIX scheint die in Rede stehenden Massen sämtlich für enallogen, d. h. für exogen zu halten, so u. a. gerade die von RINNE als endogen gedeuteten vom Hohenberg (531).

Nach meinen Wahrnehmungen muß ich die derben Stücke sowie die quarz- und glimmerfreien Aggregate von Feldspaten eher für Urausscheidungen halten, entstanden an denjenigen Stellen, wo, etwa auf Grund reichlicher Bildung von Olivinknollen oder verwandter sehr basischer Massen, auch von Erzen, ein größerer Gehalt an SiO^2, Al^2O^3 und Alkalien, höchste Armut an MgO und Fe im Urmagma herrschte. Zwar kann das hindurchziehende Basaltgeäder für den endogenen Ursprung nichts beweisen, steht ihm aber auch keineswegs entgegen, ja es braucht sich dabei überhaupt nicht um eigentlich sekundäre Injektionen zu handeln (vgl. S. 179). Die Hauptargumente für jene Auffassung, welche, vielleicht im einzelnen nicht direkt beweisend, sich durch ihren gegenseitigen Zusammenhang stützen und kräftigen, beruhen zunächst darin, daß so reine, von sonstigen Gemengteilen freie Vereinigungen von Orthoklas und Plagioklas, wie sie hier häufig vorkommen, in der Gesteinswelt wenig bekannt sind. Die in Rede stehenden Massen wird man von exogenen Einschlüssen wirklichen anstehend gewesenen Granits nicht ableiten können, denn solche werden in örtlicher Verbindung innerhalb dieser Basalte nicht gefunden; die begleitenden, nur granitähnlichen Quarzfeldspat-Aggregate sind selbst vermutlich endogenen Ursprungs. Weiterhin spricht das Hineinspielen echt basaltischer Augite an den Rändern der Feldspateinschlüsse offenbar sehr für die Ausscheidungs-

Digitized by Google

natur. Die Führung von massenhaften Dampfporen, auch von Glaskörnern müßte bei einem exogenen Ursprung als eine komplizierte sekundäre Beeinflussung gelten, spielt jedoch bei einer endogenen Ausscheidung die Rolle eines unmittelbaren Attributs. Namentlich würde aber auch der häufige reichliche und jedenfalls ursprüngliche Gehalt an Zirkon, ebenfalls an Sapphir in den Aggregaten für fragmentare Partien fremder Felsarten etwas völlig Abnormes darbieten, während andererseits leicht zu begreifen ist, wie diese beiden, nur als basaltische Ausscheidungen aufzufassenden Mineralien sich an den Auskristallisationen der Feldspate aus dem Magma mit beteiligen können.

Ein wesentliches Argument für die Ausscheidungsnatur von förmlich beweisender Kraft muß aber schließlich noch darin erblickt werden, daß am Finkenberg feldspatfreie normale Olivinknollen vorkommen, welche von einer Rinde des Feldspataggregats umgeben sind, die insbesondere nach innen zu sehr scharf, nach dem außen daran stoßenden Basalt zu etwas minder scharf abgegrenzt ist. Der Analogie wegen ist es sehr beachtenswert, daß J. Morozewicz bei seinen ingeniösen Experimenten (a. a. O. 194) aus Basaltfluß, welchem Spinell und Korund zugesetzt war, kugelartige Konkretionen erhielt, bei denen um eine zentrale Olivinmasse eine dichte Zone dunkelgrünen Spinells verlief, während die peripherischen Teile aus Plagioklasleisten bestanden, dazwischen eine Glasbasis mit Augit, Olivin, Magnetit, Spinell. Hier dürfte demnach etwas der Hauptsache nach Übereinstimmendes als lehrreiches Beispiel für Differenzierungen künstlich und unfreiwillig zu stande gekommen sein.

Quarzfeldspat-Aggregate.

Daß durch Basalte Bruchstücke echten Granits emporgefördert wurden, der in der Tiefe anstand, ist eine der am längsten bekannten geologischen Tatsachen, und an solchen wirklichen Granitfragmenten sind auch mit am frühesten die verändernden Einwirkungen des basaltischen Magmas als sehr augenfällig ermittelt worden.

Auch für die rheinischen Basalte ist in der bisherigen Literatur vielfach von „Graniteinschlüssen“, „granitartigen“ oder „granitischen Einschlüssen“ die Rede. Es muß aber ganz besonders konstatiert

Digitized by Google

werden, daß die darunter verstandenen Massen insofern gar keine eigentlichen Granite sind, indem in ihrer typischen Ausbildung allemal ein Glimmer fehlt, und insofern auch gar keine gewesen sind, als ein etwaiges Einschmelzungsprodukt des Glimmers, wie es von anderen Lokalitäten wohlbekannt ist, stets vermißt wird.[1])

Soviel echte Granite also auch sonst in Basalten, mehr oder weniger alteriert, tatsächlich vorkommen, für die hier in Rede stehenden Materialien kann nur, wenn man vorurteilslos sein will, die objektive Bezeichnung „Quarzfeldspat-Aggregat" gewählt werden, welche nichts über eine — sehr zweifelhafte — Beziehung zu Graniten aussagt.[2])

Diese Aggregate, die, aus einer gewissen Entfernung betrachtet, in der Tat einen granitähnlichen Eindruck machen, sind in der Regel mehr grob- als mittelkörnig, mit vielfach über erbsengroßen, ja bis 8 mm dicken Quarzen, letztere manchmal klar und farblos, bisweilen etwas milchig, sehr häufig blaß- oder auch dunkler-

1) Auch aus dem basaltischen Eruptionsschlot von Rolandseck citiert v. Dechen (157) ein „granitartiges" Gestein, bestehend bloß aus Quarz und Feldspat; desgleichen enthält der „Granit" aus dem Minderberg bei Linz in einem s. Z. durch ihn dem Leipziger Museum geschenkten Stück keinen Glimmer, anderer analoger Fälle nicht zu gedenken. — Dannenberg sagt (58): „von Glimmer ist in den meisten Fällen keine Spur vorhanden" (dennoch sei die Bezeichnung solcher Einschlüsse als granitische durchaus unbedenklich); „gelegentlich findet sich eine braungelbe Schmelze, die man als eingeschmolzenen Glimmer deuten mag". Leider ist eine Lokalität, wo solches vorkommen soll, nicht angegeben, auch eine weitere Untersuchung, ob diese „Schmelze" in der Tat von Glimmer herstammt, oder eine basaltische Injektion darstellt, anscheinend nicht veranstaltet. Ich kann nur betonen, daß in den vielen Dutzenden von Quarzfeldspat-Aggregaten aus diesen rheinischen Basalten, die mir durch die Hand gegangen, ein Schmelzprodukt des Glimmers stets gefehlt hat, wie auch Bleibtreu nie eines beobachtete. Dereinstige Funde von leibhaftigem exogenem Granit können selbstverständlich nicht als ausgeschlossen gelten.

2) Die ungerechtfertigte Benennung solcher Aggregate als Granit wird auch in anderen Basaltgebieten nicht selten angetroffen. v. Chrustschoff versuchte, wohl um die Abwesenheit des Glimmers zum Ausdruck zu bringen, sich mit der Bezeichnung pegmatitartig zu helfen (Min. u. petr. Mitth. IV. 1882. 482), wobei er aber hinzufügen muß, daß — im Widerspruch damit — die Quarze in dem Feldspat gar nicht parallel orientiert sind. — Mit der Benamsung von Einschlüssen scheint man es überhaupt manchmal gar nicht so genau zu nehmen; so spricht neuerdings K. Hinterlechner (Verh. k. k. geol. R.-Anst. 1902. 189) von „Cordieritgranit"-Einschlüssen im Nephelintephrit des Kunětitzer Berges bei Pardubitz in Böhmen, obschon dieser „Granit" weder Quarz noch Orthoklas noch Glimmer enthält.

Digitized by Google

braun, etwas rauchquarzähnlich; diese Farbe verschwindet sehr rasch beim Erhitzen. Die meist weißen oder lichtgrauen Feldspate sehen oft, wenn auch nicht gerade glasig, doch etwas zu frisch für einen Granit aus, und, wenn sie eine gewisse Trübheit besitzen, die an granitischen Orthoklas und Plagioklas erinnert, so ist dies auf ganz andere Ursachen, auf das Dasein primärer Interpositionen zurückzuführen, indem sich niemals u. d. M. eine auch nur beginnende Kaolinisierung oder Muscovitisierung zeigte. Die allermeisten Einschlüsse dieser Art bestehen lediglich aus Orthoklas, Plagioklas und Quarz und sind eigentlich nicht viel anderes, als die früher erwähnten Feldspataggregate in etwas grobem Gefüge mit einem Gehalt an Quarzkörnern. Denn auch Form, Verschränkung und Mikrostruktur der Feldspate stimmt im allgemeinen in beiderlei Massen ganz überein.

Die Orthoklase pflegen auch hier eine oft überaus große Menge von Poren in ihrer wasserklaren Masse zu bergen, die bei stärkerer Vergrößerung wie dicke dunkle Hohlkugeln, von Eiform, Schlauchform, auch ganz irregulär erscheinen; manche zeigen gar keine lichte Zentralstelle und sind vielleicht innerlich mit einem Sublimationsprodukt beschlagen. Glasige oder schlackige Partikel geben sich mitunter, aber nicht immer kund, andere Interpositionen fehlen gewöhnlich. — Im ganzen steht in diesen Einschlüssen der Plagioklas zurück, doch kommt auch wohl das Gegenteil vor, und andererseits fehlt er mitunter überhaupt. Er ist ebenfalls ganz frisch, scharf und fein lamelliert, zumeist sehr gleichmäßig, während auch einigemal eine sehr verschiedene Breite der Lamellen vorlag, indem solche von 0,11 mm mit solchen von nur 0,01 mm Dicke abwechselten. In einem Falle zeigten sich Plagioklase von einem klaren Rande einheitlichen Orthoklases umwachsen. Auffallend ist der oftmalige Gegensatz, daß, wenn es in dem benachbarten monoklinen Feldspat von dicken Gasporen geradezu wimmelt, der trikline nur äußerst spärliche und allerfeinste enthält. Einige Plagioklase führen wie die angrenzenden Quarze Einschlüsse flüssiger Kohlensäure. Die wohl zu bestimmende Auslöschungsschiefe beträgt in genau basischen Schnitten und Plättchen nach vielen Messungen $3^1/_2{}^0$—4^0 und zwar im negativen Sinne, was auf einen dem Albit genäherten sauren Oligoklas, etwa Ab^5An^1 hinweist. Wird nach dem Beckeschen Verfahren mittels starker Abblendung bei zentraler Beleuchtung die Licht-

Digitized by Google

brechung des Plagioklases mit der des häufig angrenzenden Quarzes verglichen, so ist ersterer allemal schwächer lichtbrechend als letzterer. Umgekehrt sich verhaltende, dem Andesin oder Labradorit zuzusprechen, wurden nicht gefunden. Selten nur werden diese Feldspatschnitte von zart mikroperthitisch struierten, ebenfalls höchst porenarmen begleitet. Die striemigen Einlagerungen sind außerordentlich fein, und nur von schwachen Gegensätzen in der Lichtbrechung, überhaupt bloß bei schiefer Beleuchtung deutlich zu erkennen.

Die vielfach irregulär zerborstenen Quarze entbehren stets jede Andeutung kristallographischer Begrenzung (als gänzliche Ausnahme erscheinen sie in einem einzigen, sonst körnigen Einschluß nicht ebenfalls in der Form rundlicher oder eckiger Körner, sondern als etwas verlängerte rauchbraune Schmitzen). In Betreff der Führung von Interpositionen verhalten sie sich verschieden; manche sind ganz frei von jedem gasigen, flüssigen oder festen Einschluß, und diese stehen dann im auffallenden Gegensatz zu den üblichen granitischen Quarzen, ähneln manchmal gewissen rhyolithischen. Andere aber enthalten neben anscheinenden Dampfporen auch ganz besonders schöne und reichliche Einschlüsse von flüssiger Kohlensäure (bis 0,01 mm groß); wird bei entferntem Polarisator eine glimmende Zigarre 2 Sekunden lang unter das Loch des Tischchens gehalten, so verschwindet die unruhig sich bewegende Libelle und sie kehrt erst nach Verlauf von ca 30 Sekunden wieder. Bekanntlich führen auch die Olivine der daran reichen Knollen Einschlüsse von liquider Kohlensäure. Mitunter beherbergen die Quarze anscheinend kurze oder längere dunkle Nädelchen oder Härchen, die zunächst den bekannten Rutilhärchen gleichen; starke Vergrößerung läßt aber in ihnen zumeist überhaupt keine soliden Interpositionen sondern lang cylindrische oder kettenartig dicht an einander gereihte kürzere Hohlräume erkennen.

An den normalen Aggregaten von Quarz und Feldspat beteiligt sich basaltische Zwischenmasse in ganz übereinstimmender Weise wie an den bloß aus Feldspat bestehenden, und oft kann man sehr gut die Stellen beobachten, wo dieselbe mit dem angrenzenden Basalt zusammenhängt. Sie ist selten etwas kräftiger entwickelt, aber doch auch nicht so fein, daß man nicht in den fast wasserklaren Präparaten des Aggregats schon mit

Digitized by Google

bloßem Auge und namentlich im schief auffallenden Licht ein zartes, außerordentlich vielverschlungenes Netzwerk spinnwebendünner, trüblich weißer, anscheinender Äderchen gewahrte. Das Verhalten u. d. M. ist wiederum so, daß dieselben nicht etwa durch die Mineralindividuen selbst hindurchgehen, sondern es sind nahezu alle die einzelnen irregulär konturierten Feldspate und Quarze von der basaltischen Masse umzogen und von einander durch letztere abgetrennt; nur ganz selten fehlt sie zwischen zwei Mineralkörnern, und es sieht gerade so aus, als ob die kristallinischen Individuen durch dünnstes basaltisches Cäment mit einander verkittet seien. Der Anblick weist viel eher darauf hin, daß schon beim Zusammentritt des Quarzfeldspat-Aggregats Basaltmasse sich beteiligt und zwischen den einzelnen Individuen abgelagert habe, als daß dieselbe eine spätere Injektion zwischen die Körner eines etwas locker gefügten präexistierenden Materials darstelle. Wo die Interstizien breiter sind, liegen wohl relativ große Plagioklase, ganz von ihnen umzingelt, darin. In den üblichen basaltoidischen Streifchen zeigen die mitunter skelettartigen Feldspate häufig dunkle rektanguläre Kerne, im ganzen sind sie reich an Plagioklas, arm an Magnetit und einem vielfach etwas grünlichen Augit, der übrigens an den Rändern kräftiger und reichlicher entwickelt zu sein pflegt; auch kommt eine feldspatführende und fast augitfreie Ausbildung vor (über eine weitere besondere s. S. 180). Wo die Streifchen sich auskeilen, pflegen sie ein blaßgelbliches ganz isotropes Glas darzustellen, in welchem wohl, wie es überhaupt hier nicht selten der Fall, sekundäre Carbonatbildung stellenweise Platz gegriffen hat.

Was die Strukturverhältnisse dieser Aggregate betrifft, so ist ein gleichmäßig körniges granitähnliches Gefüge die Regel. Doch wurden etliche Male auch ganz ungranitähnliche Abweichungen bemerkt. So sitzen z. B. bei Einschlüssen des Finkenbergs stellenweise zwischen den größeren Individuen Partien von bedeutend kleinerem Korn, in denen übrigens die Individuen genau dieselben, nur verjüngte Umrisse besitzen, wie in dem gröberen Gemenge, so daß hier von einem kataklastischen Charakter nicht die Rede sein kann. In einem anderen Einschluß ist zwar das Quarzfeldspat-Aggregat zur Hauptsache rundlich- und eckig-körnig, aber es liegen darin Partien, wo längere leistenförmige Feldspatschnitte zu 5 bis 8 an der Zahl um einen Punkt radial versammelt sind.

Digitized by Google

Das übliche feine basaltoidische Geäder, hier vorwiegend strahlig-faserig mit globulitischer Zwischensubstanz und nicht sonderlich gut auflöslich, füllt als breite, dreieckig-keilförmig eingeklemmte Interstizien die Räume zwischen den zentrisch zusammengeschossenen Feldspatleisten aus. — Eine undulöse Auslöschung wurde an den Quarzen und Feldspaten nie, auch nicht nur andeutungsweise wahrgenommen.

Neben den normalen kompakten Aggregaten von Feldspat und Quarz kommen sehr selten auch etwas porös lockere Massen aus beiden Gemengteilen vor; letztere sind dann enorm reich an Dampfporen von den verzerrtesten Gestalten, die an allerhand Werkzeuge, Buchstaben, Ziffern erinnern, aber das Aggregat selbst zeigt kein schaumiges Aufgeblähtsein, auch nichts von einem bimssteinähnlichen Charakter. In einem solchen Aggregat wurde die auch hier vorhandene basaltoide Zwischenmasse eigentümlich gegliedert befunden. Als Basis dient ein fein bräunlich-globulitisches Glas, in welchem spärliche Pyroxenkriställchen durch Farbe, Pleochroismus und fast gerade Auslöschung dem Aegirin nahe zu stehen scheinen. In den randlichen Teilen der basaltoidischen Streifen fallen vor allem lange Feldspatstrahlen auf, oft zu zahlreichen parallel in Reihen geordnet; ihre ziemlich großen Querschnitte besitzen regelmäßig arrangierte Einschlüsse von dunklen Schlackenstriemen. In den inneren Teilen der Streifen herrschen anders entwickelte kurze gedrungene Feldspate, mit fast quadratischen oder rechteckigen Schnitten, auch viel ärmer an jenen Interpositionen. Alle diese Feldspate dürften aber monoklin sein. Wo diese Zwischenmasse durch schiefen Schnitt etwas über ein farbloses Mineralkorn hinübergreift, ist ihre Zusammensetzung und Struktur sehr gut zu erkennen, und hier muß man sich an der Grenze gegen die Feldspate hüten, nicht etwa einen gegenseitigen Übergang oder eine „chagrinierte“ Beschaffenheit der letzteren anerkennen zu wollen. An sich würde es nicht auffallend sein, wenn an einem Orte, wo das Magma Alkalifeldspat und Quarz aus sich entstehen läßt, auch die hineinspielenden Magmateile keinen eigentlichen Basalt geliefert hätten, sondern kleine Kalifeldspate und Natronpyroxene aus ihnen entstanden wären. Die etwas poröse Ausbildung der Aggregate scheint viel eher auf ursprünglicher Bildung, als etwa auf der Bearbeitung einer vorhanden gewesenen kompakten Masse durch das Magma zu beruhen.

Digitized by Google

In einem dieser löcherigen Quarzfeldspat-Aggregate saßen in einer Höhlung prächtige modellgleiche Tridymitdrillinge.

Wiederum muß, wie für die Feldspataggregate so auch hier hervorgehoben werden, daß an den untersuchten Materialien sich äußerst wenig von den sonstwie angeführten Erscheinungen einer randlichen Umwandlung, Umkristallisation u. s. w. zu erkennen gab. Auch eine Porricinbildung wurde vermißt an den Stellen, wo die Quarzkörner der Aggregate an den Basalt grenzen. — Dannenberg gibt (59) für die Quarze seiner „granitischen Einschlüsse“ eine Umwandlung des Quarzes in Chalcedon an, „welcher zwischen gekr. Nicols einen höchst zierlichen Aufbau aus zahlreichen äußerst feinen radialfaserigen Aggregaten mit dem Bertrandschen Kreuz zeigt“, die vielfach mit konzentrischem Gefüge sektorenweise vereinigt sind; ganz analog struierte und beschaffene Radialaggregate sollen aber auch die Ausfüllungsmasse breiterer Spalten des Einschlusses bilden. Derartiges ist in den meisten meiner Präparate ebenfalls zu gewahren, nur hat die äußerlich ganz mit den Angaben übereinstimmende Substanz hier nichts Genetisches mit dem Quarz zu tun und ist auch kein Chalcedon, sondern — aufgewachsenes und sekundär die Fugen erfüllendes Kalkcarbonat.

Längs der Grenze dieser Einschlüsse weicht der Basalt nur darin ab, daß er bisweilen etwas größere und reichlichere Augite enthält, oder daß diese mehr grünlich als bräunlich gefärbt sind. Wenn auch die Grenze zwischen Basalt und den im Präparat farblosen Feldspat- und Quarzschnitten manchmal ganz scharf verläuft, so zeigt sich doch auch vielfach die bemerkenswerte und für die endogene Natur des Einschlusses sprechende Erscheinung, daß braune oder grünliche basaltische Augite stellenweise zur Hälfte in jene farblosen Mineralien hineinragen, selbst am Rande der letzteren ganz von ihnen umschlossen werden. Ja es wurde sogar wahrgenommen, daß die basaltischen Augite sich recht weit in den Feldspat hinein verirren. In nicht seltenen Fällen gesellt sich dazu aber noch der weitere Befund, daß umgekehrt auch die Orthoklassubstanz des Einschlusses in den angrenzenden Basalt hineingreift, indem auf eine gewisse Erstreckung hin die lockeren Gemengteile des letzteren in einem polarisierenden Untergrund desjenigen Feldspats liegen, welcher weiterhin in reiner Ausbildung dem Einschluß angehört. Hier ist also in der Tat ein völliger

Digitized by Google

Übergang zwischen Einschluß und Basalt vorhanden, und zwar einer von primärer und unmittelbarer Natur.

Das Mittel aus drei Untersuchungen eines weder zu quarzreichen noch zu quarzarmen Materials ergab sich als:

Kieselsäure	72.32	
Titansäure	0.20	
Tonerde	10.23	
Eisenoxydul	3.10	(MnO)
Kalk	1.26	
Magnesia	0.86	
Kali	4.89	
Natron	3.97	
Glühverlust	3.28	
	100.11	

In den üblichen kompakten und körnigen Quarzfeldspat-Aggregaten wird nun mitunter ein Gehalt an noch anderen Mineralien gefunden. So gibt es am Finkenberg solche mit quantitativ allerdings ganz zurücktretenden pfefferkorngroßen Augiten von schön smaragdgrüner Farbe; in den Präparaten ähneln sie den bekannten grünen Kernen in basaltischen Augiten; nach dem 52° betragenden Maximum der Auslöschungsschiefe zu urteilen, scheint eine sonderliche Menge von Natrium nicht darin vorhanden. Abgesehen von feinsten Poren (vielleicht auch minimalen Glaseinschlüssen) führen diese Augite in bemerkenswerter Weise einige bis 0,35 mm große Olivinkörner in sich. Die zwischen den Gemengteilen des Einschlusses hindurchziehende basaltische Zwischenmasse besitzt rund um die Augite eine größere Breite, als zwischen den Feldspaten und Quarzen, sie schwillt hier bis zu 0,3 mm Breite an, und in diesen dickeren basaltischen Strängen liegen auch vereinzelte Körner derselben grünen Augite eingewickelt. Das Aggregat hält keinen Magnetit. — Etwas Augit führende Quarzfeldspat-Aggregate kommen auch am Ölberg vor; ein ziemlich feinkörniger heller Einschluß dieser Art ist nicht ganz kompakt, in den kleinen Interstizien sind winzige Augitkriställchen und Tridymitblättchen aufgewachsen, beide unter der Loupe sehr gut erkennbar.

Seltener, aber genetisch von besonderer Bedeutung ist die Gegenwart von selbständigen (nicht nur vom Augit umhüllten)

Digitized by Google

Olivinkörnern in diesen Einschlüssen vom Finkenberg. — Es ist hier unter den vielen Quarzfeldspat-Aggregaten auch bisher einmal ein sonst normales gefunden worden, in welchem ganz sporadisch ab und zu ein winziges Biotitblättchen erblickt wurde. Das Mineral spielt aber offenbar, gleich dem Augit, Olivin, Zirkon, Sapphir u. s. w. die Rolle einer zufälligen Beimengung, und ein granitischer Gesteinscharakter wird dadurch nicht im mindesten erzeugt, womit auch die minimale Quantität und die ganz irreguläre Verteilung des Biotits gar nicht übereinstimmen würde.

Wie in den Feldspataggregaten (S. 168 f.), so liegen auch in diesen quarzhaltigen Einschlüssen gar nicht selten bis pfefferkorngroße funkelnd rote Zirkone oder blaue Sapphire, ja bisweilen (sehr schön z. B. am Ölberg) finden sich beide Mineralien hier neben einander. Das ganze Vorkommen ist genau analog, so daß an dieser Stelle nichts weiteres mitgeteilt werden kann.

Die enge Verbindung der quarzfreien und quarzhaltigen Einschlüsse spricht sich nicht minder in der gemeinsamen Führung von Sillimanit aus. Letzterer erscheint makroskopisch als fein filzig-faserige Partien eingelagert, von der bekannten graulichweißen, blaßrötlichen oder violettlichen Farbe (mit eingewachsenen Spinellen). Ein besonders schöner Fund besteht aus hellgrauen zollgroßen Plagioklasen, so deutlich für das bloße Auge gestreift, wie die Arendaler Oligoklase, aus erbsendicken Quarzkörnern und violetten Sillimanitbüscheln, in ganz richtungslosem Gemenge.

Doch verknüpft sich in ganz vereinzelten Fällen mit dem Auftreten des Sillimanits auch eine Art von Parallelstruktur, wie ein einmal im Finkenberg gefundenes Stück erweist. Es ist ein überfaustgroßer Einschluß, allenthalben eckig und kantig, offenbar das Fragment einer viel umfangreicheren Masse. Das Quarzfeldspat-Aggregat mit überwiegendem etwas milchigem Quarz in dicken Körnern wird in Abständen von ca 1 cm durchzogen von im Querbruch grauen, 1—1,5 mm dicken, mehr oder wenig parallelen Lagen, nach denen der Einschluß auch leicht spaltet. Auf den Spaltungsflächen sieht man dann, daß diese Lagen aus Sillimanit bestehen, mit dessen glänzenden, filzig verworrenen Büscheln die ganze Fläche dicht bedeckt ist. U. d. M. sind die anscheinend einheitlichen Quarzkörner eine Häufung vieler kleiner. In den Sillimanitlagen treten unzählige ausgezeichnete Querschnitte schief stehender Individuen hervor. Doch beschränkt sich der Silli-

Digitized by Google

manit nicht auf die grausilberigen makroskopischen Lagen, auch der Quarz und Orthoklas des Einschlusses ist von einer ganz enormen Masse seiner Nädelchen kreuz und quer durchwachsen, die längsten selbst bis zu 1 mm ausgedehnt. Betrachtet man das eigentümliche Stück für sich ganz allein, so könnte man auf die Vermutung kommen, als Ausnahmefall einen glimmerfreien Sillimanitgneiß vor sich zu haben.

Auch noch ein anderer, einmal gefundener Einschluß aus dem Finkenberg, eine halbfaustgroße Masse im Basalt, könnte, aus einiger Entfernung betrachtet, auf den ersten Blick an Gneiß erinnern, indem in einem körnigen vorwiegenden Quarzfeldspat-Aggregat mehr oder weniger parallele langgezogene dunkle schmale Linien verlaufen, ähnlich wie die Biotitflasern auf der Bruchfläche eines grauen Freiberger Gneißes, senkrecht zur Schieferung. Die Hauptmasse besteht u. d. M. aus beiderlei Feldspaten und recht reichlichem Quarz in irregulären Körnern. Mattweiße trübe feinfaserige Streifchen, die bei genauer Betrachtung schon makroskopisch hervortreten, sind Stränge sehr deutlicher Sillimanitnadeln, die sich dem oben erwähnten Parallelismus einfügen. Die dunkeln Lagen aber, welche in erster Linie den scheinbaren Gneiß-Eindruck hervorrufen, sind keine Flasern von Biotit, auch nicht etwa ein halbglasiges Einschmelzungsprodukt desselben, sondern magnetitreiche basaltoide Zwischenmasse, in welcher höckerige Pyroxennädelchen, ja selbst Olivinkörnchen hervortreten. Der makroskopische Parallelismus dieser Partieen ist u. d. M. bei weitem nicht so ausgesprochen, es sind verästelte, ganz abgerissen erscheinende Fetzen, die zwischen den Quarzfeldspat-Partien stecken und sehr wahrscheinlich gleichzeitige Ablagerungen, schwerlich basaltische Injektionen in einen Sillimanitgneiß darstellen.

Schließlich ist noch der Gehalt an Magnetkies zu erwähnen, der gar nicht selten in Partien, welche die Größe der Quarze erreichen, in dem sonst normalen Gemenge liegt und das granitähnliche Ansehen des Einschlusses völlig beseitigt. Beachtenswert sind auch augitführende Quarzfeldspat-Massen, in denen der Magnetkies fast nur an der Peripherie und hier sehr reichlich auftritt. In ähnlicher Weise gibt es augitfreie Aggregate, bei denen bloß die unmittelbar an den Basalt angrenzenden Feldspate viele Apatite in gedrungenen staubigen Prismen führen, während der Gemengteil im Innern des Einschlusses vermißt wird.

Digitized by Google

Den glimmerfreien Quarzfeldspat-Aggregaten ist bis jetzt wohl immer ein exogener Ursprung zugeschrieben worden, und man hat in denselben, indem die Abwesenheit des Glimmers und seines Schmelzprodukts übersehen oder darauf kein Gewicht gelegt wurde, granitische Einschlüsse erblickt. Selbst diejenigen, welche, wie Rinne, die quarzfreien Feldspateinschlüsse für Urausscheidungen zu halten geneigt sind, haben vor den quarzführenden mit einer analogen Deutung Halt gemacht. Aus dem Vorhergehenden aber dürfte sich zunächst ergeben, daß die in Rede stehenden Einschlüsse mit echten Graniten weiter nichts wesentlich Charakteristisches gemeinsam haben als den Gehalt an Feldspaten und Quarz.

Von vorn herein möchte man vielleicht meinen, daß die allgemeine Struktur des Gemenges ebenso gut — wenn von gewissen Besonderheiten abgesehen wird — einem Granit angehören, als bei einer Ausscheidung zu stande gekommen sein könne. Aber wo in den völlig glimmerlosen Präparaten nur die zerborstenen, ganz interpositionsfreien Quarze und die überaus porenreichen Feldspate nebeneinander liegen, wird man das mikroskopische Bild schwerlich weder mit dem eines normalen Granits verwechseln können, noch auch eine Ähnlichkeit erblicken mit einem durch magmatische Einwirkung veränderten ehemaligen Granit, wie ihn u. a. die Laven der Auvergne, der Basalt des Großdehsaer Berges und benachbarter Punkte der Oberlausitz so typisch verglast enthalten. Auch paßt der makroskopische Gehalt an Sapphir, rotem Zirkon, lebhaft grünem Augit, Sillimanit, insbesondere aber der an Olivin schon an und für sich wenig in den Rahmen eines Granits.[1])

Wer die Quarzfeldspat-Aggregate für exogene granitische Bruchstücke hält, der müßte in dem unterirdischen Granitgebiet

---

1) Lacroix sagt (54), daß die Einschlüsse von Quarzfeldspatgesteinen interessant seien durch Gehalt an Mineralien, die an Ort und Stelle im Anstehenden nicht bekannt sind, z. B. Korund, oder sich darin nur in mikroskopischen Kristallen finden, z. B. Zirkon. Dieser Reichtum an solchen seltenen Mineralien lasse sich dadurch erklären, daß dennoch nachbarlich in der Tiefe Gesteine anstehen, welche durch dieselben ausgezeichnet seien, oder daß diese Mineralien in Folge ihrer größeren Resistenz gegen die Einwirkung von Hitze und Magma in den Einschlüssen angereichert wurden. Die erste Erklärung greift zu einer zwar nicht unmöglichen, aber bei Lichte besehen, recht unwahrscheinlichen und gezwungenen Annahme, die letztere ist nicht unmittelbar verständlich und wird auch durch die Ausführungen auf S. 556 und 557 nicht anschaulicher.

völlig glimmerfreie Strecken voraussetzen, die gerade vom Durchbruch betroffen wären; daneben wäre aber auch das Dasein von glimmer- und quarzfreien anzunehmen, denen die von jenen Aggregaten schwerlich trennbaren reinen Feldspatpartien entstammen.

Wenn oben für die quarzfreien Feldspateinschlüsse darzutun versucht wurde, daß dieselben aller Vermutung nach Ausscheidungen sind, so wird man meiner Erachtung nach mit einem angenäherten Grade von Wahrscheinlichkeit dasselbe für die Quarzfeldspat-Massen aussprechen dürfen. Daß diese Annahme bisher auf Schwierigkeiten und Widerstand stieß, hat vielleicht darin seinen Grund, daß man sich vorstellte, letztere Partien sollten aus demjenigen Magma entstanden sein, welches jetzt die Hauptmasse des Basaltvorkommens darstellt. Dies würde aber wohl nicht der Fall sein, vielmehr wäre anzunehmen, daß sie aus Schlieren festgeworden sind, die durch anderweitige Vorgänge besonders kieselsäure- und alkalireiche, magnesia-, kalk- und eisenarme Beschaffenheit erlangt hatten. Es ist eigentlich für das Zustandekommen dieser Aggregate nichts weiter nötig, als daß das Magma lokal durch Differenzierungen eine noch etwas saurere Zusammensetzung gewonnen hat, als sie bei sonst gleichen chemischen Bestandteilen die Ausscheidung von quarzfreien Feldspataggregaten veranlaßte. Strömungen erzeugten dann Mischung und Ortsveränderung.

Mit den Feldspataggregaten besitzen die in Rede stehenden Einschlüsse in der Tat sehr vieles gemeinsam. Das übereinstimmende Durchzogensein von basaltischem Geäder fällt zwar, wenn es sich dabei um eine Injektion handeln sollte, hier weniger genetisch ins Gewicht, weil es sich dann ebensogut an einem exogenen wie an einem endogenen Einschluß einstellen könnte; indessen ist des öfteren hervorgehoben worden, daß wahrscheinlich mehr eine gleichzeitige Beteiligung eines basaltischen Magmas beim Aufbau der Einschlüsse als ein sekundäres Eindringen auf Spältchen vorliegt. Aber abgesehen von der analogen Mikrostruktur der Feldspate und der chemischen Ähnlichkeit der Plagioklase ist sowohl bei den quarzfreien als den quarzhaltigen Massen der charakteristische Gehalt an Zirkon, Sapphir, Sillimanit (Magneteisen) derselbe, was auf eine übereinstimmende Entstehung hinweist.

Weiterhin spricht auch an den Grenzen der Quarzfeldspat-Einschlüsse das Hineinragen der basaltischen Augite in die Feldspate, ihr völliges Eingebettetsein in den letzteren, augenscheinlich

Digitized by Google

für die Ausscheidungsnatur. Namentlich ist aber noch eine bedeutsame Erscheinung zu erwähnen, deren im Vorstehenden bisher nicht gedacht wurde: am Finkenberg kommen Olivinknollen vor, die von einer dicken Rinde des normalen Quarzfeldspat-Aggregats umsäumt sind. Mag man über die Herkunft der Olivinknollen denken wie man will, diese umrindende Masse kann hier zweifellos nicht als granitisches Gestein, noch weniger als peripherisches Umwandlungsprodukt sondern nur als aus dem Basalt selbst geboren gelten.

Es ist schließlich bemerkenswert, daß nach allen bisherigen Erfahrungen im Siebengebirge die Quarzfeldspat-Aggregate lediglich an die Basalte gebunden sind, in den dortigen Trachyten und Andesiten nicht gefunden wurden.[1]) Wären die ersteren exogene granitische Bruchstücke, so würde bei der überaus engen örtlichen Vereinigung und dem Durcheinandervorkommen der drei Eruptivgesteine das Fehlen in den beiden letztgenannten ganz unverständlich sein, wenn man nicht auch hier wieder zur Annahme einer durchgängigen und absolut vollständigen Resorption seine unbefriedigende Zuflucht nehmen will. In Anbetracht der supponierten Magmaspaltung dürfte das Beschränktsein auf den Basalt mit dessen Gehalt an Olivinknollen in Verbindung gebracht werden können, die andererseits auch den Trachyten und Andesiten ganz fremd sind. Am Finkenberg kommen gerade beiderlei chemisch polar entgegengesetzte Einschlüsse nebeneinander in besonderer Reichlichkeit vor. Und in den zahlreichen Basaltkuppen der gegenüberliegenden Eifel, wo die Olivinknollen fehlen, ist auch in bezeichnender Weise niemals, soweit bekannt, ein Quarzfeldspat-Einschluß gefunden worden, desgleichen kein Sapphir, vermutlich, weil eben die erforderliche Tonerde-Anreicherung ausblieb.

Vorstehende Erwägungen gelten natürlich nur für die in den rheinischen Basalten zur Untersuchung gelangten Materialien. Die allgemein bekannte Tatsache, daß Fragmente echter Granite oder Massen, die einstmals echte Granite waren, in den Basalten als exogene Körper eingeschlossen vorkommen, wird dadurch nicht berührt, geschweige angezweifelt.

1) Wenn Poehlig (Niederrhein. Ges. zu Bonn, 4. Juli 1887) feinkörnigen Granit, „eingeschmolzen" im Lohrberg-Trachyt erwähnt, so bleibt fraglich, woraus auf die ehemalige Granitnatur der jetzigen Schmelzmasse geschlossen wurde.

Digitized by Google

Quarz.

Der derbe Quarz in den lediglich aus ihm bestehenden Einschlüssen besitzt ein verschiedenes Ansehen, nämlich mehr oder weniger wasserhell oder etwas graulich, zu vergleichen dem üblichen Quarz der Granite, ferner ist er dem Rauchquarz und endlich dem Fett- oder Milchquarz ähnlich; die bräunliche Farbe verschwindet rasch schon bei mäßigem Erhitzen. Diese Ausbildungsweisen erscheinen im Finkenberg bis zur Größe einer kräftigen Faust; sie sinken herunter zu Partikeln von der Dicke eines Pfefferkorns und können dann makroskopisch leicht mit frischem Olivin verwechselt werden, wenn sie nicht, was häufig der Fall, einen zarten blaßgrünlichen augitischen Porricinring tragen. Doch sind diese kleinen Quarzkörner immer nur ganz vereinzelt zu finden, bei weitem nicht so reichlich und so regelmäßig verteilt, wie in den amerikanischen „Quarzbasalten".

Vielfach wurden Quarzaggregate gefunden, bei denen fast ganz wasserklare Körner mit bräunlichen rauchfarbenen von denselben Dimensionen wechseln. Mitunter ziehen auch durch ein Aggregat heller Körner mehr oder weniger parallele dunkle Schmitzen, bestehend aus ebenso großen Rauchquarz-Körnern. Recht ausgezeichnet sind Stücke aus dem Finkenberg, bei denen bis 7 cm dicke Massen von fast farblosem Quarz, wie es scheint allseitig, umrindet werden von einer 1 cm breiten Peripherie aus ganz dunkelrauchgrauen Quarzkörnern. Hier ist es wohl ganz unmöglich anzunehmen, daß der Einschluß in der Beschaffenheit, mit welcher er jetzt im Basalt liegt, ein exogenes Fragment darstellt; er ist entweder ein exogenes Fragment, dessen peripherische Quarzkörner innerhalb des Basalts mit der rauchgrauen Färbung versehen wurden, oder — eine endogene Ausscheidung, bei welcher der Quarz sich anfangs hell verfestigte, der später darum abgesetzte rauchgrau ausfiel.

In sehr vielen Fällen bietet die mikroskopische Untersuchung dieser reinen Quarzsubstanzen nichts Bemerkenswertes. Gaseinschlüsse und Flüssigkeitseinschlüsse mit immobiler Libelle (deren Verhalten bei Erwärmung die Deutung der Interpositionen als liquide Kohlensäure ausschließt) finden sich in größerer und geringerer Menge, oft insbesondere zu Bändern versammelt, die in den klaren Präparaten trübe milchige Linien hervorbringen; be-

Digitized by Google

sonders der als Fettquarz bezeichnete, ist in ganz unerhörter Weise mit Poren erfüllt. Glaspartikel scheinen nicht häufig zu sein, fremde Mineraleinwachsungen pflegen zu fehlen, doch kommen hin und wieder ganz zarte dunkle Härchen, ähnlich den in den Granitquarzen vorhandenen, vor (vgl. auch S. 190). — Das Netzwerk feiner trüber Streifchen in den Präparaten körniger Quarze gibt sich aber manchmal auch als Carbonatabsatz auf Spältchen zu erkennen, der bei starker Vergrößerung wohl eine sehr zierliche symmetrische Lagenstruktur besitzt, indem dünne fast dichte Bänder mit faserigen abwechseln.

Das Durchzogensein des klaren Quarzes von milchigem Geäder kann indessen noch eine dritte Ursache haben, die Umsetzung in mikroskopischen Tridymit; wie es scheint, kommt dies nur bei einheitlich individualisierten Stücken vor. Schnurähnliche Aggregate allerkleinster, irregulär neben einander gelagerter wasserklarer Blättchen von äußerst schwacher Doppelbrechung kreuzen sich, scharf gegen den Quarz abgegrenzt und möglicherweise vorhanden gewesenen Sprüngen folgend. Es ist zweifellos, daß die Gebilde keine Körner, sondern ganz dünne Lamellen sind, die sich gegenseitig überschuppen und überdecken. Ihr Aggregat erinnert manchmal an Pflasterung, und eine Tendenz zur Gewinnung sechsseitiger Umrisse ist bei den einzelnen unverkennbar. Der nicht in Tridymit umgewandelte Quarz zeichnet sich dann durch eine außerordentlich undulöse Auslöschung aus, die in ganz kurzen Abständen sehr stark wechselt. Unter den untersuchten Materialien bot ein Einschluß zerborstenen Quarzes (Finkenberg) die wasserhellen Tridymitblättchen sogar makroskopisch erkennbar dar, wie dies auch vom Rath von einem Quarziteinschluß im Basalt von Ramersdorf bei Obercassel berichtet.[1]) Bei Quarzstücken, welche etwas locker im Basalt des Ölbergs sitzen, ist auch die Oberfläche mit größeren Blättchen bedeckt, begleitet von langprismatischen, außen durch eine weiße Substanz zart überzuckerten Augitkriställchen. — Von Bleibtreu wurde solche Tridymitbildung hier nicht beobachtet (494), Dannenberg erwähnt sie ebenfalls nicht (42 ff.); wenn er aber von der „schuppig-körnigen" Erstarrungsweise der auf Spalten in den Quarz eingedrungenen Schmelzmasse redet, so möchte man

1) Niederrheinische Gesellschaft zu Bonn, 14. Juli 1873.

Digitized by Google

fast vermuten, daß darin Tridymit vorlag, ebenso wie die „feinen radialfaserigen anscheinend zeolithischen Aggregate auf Spalten" dem Carbonat entsprechen könnten. — Schon 1878 gewahrte Trippke Tridymit an der Oberfläche von Quarzeinschlüssen in den Striegauer Basalten[1]); Lacroix beschrieb z. B. (166) in einem Quarzeinschluß der Santorinlava von 1866 eine sehr reichliche Erfüllung aller der unzähligen Spältchen mit Tridymit. Ganz ähnlich den oben angeführten scheinen auch die durch v. Chrustschoff besprochenen Ansiedelungen im Quarz des Rossberger Basalts zu sein.[2]) Max Bauer berichtet nur von einer höchst seltenen Tridymitbildung an einem einzigen Quarzkorn (238).

Ein ganz sonderbarer Quarzeinschluß ist noch zu erwähnen; es ist eine eigentümlich streifen- oder schmitzenweise Abwechslung von mikroskopisch sehr feinkörnigem und ganz bedeutend gröberkörnigem Quarzaggregat, die Individuen des letzteren mit schönen Glaseinschlüssen. Namentlich zwischen den Körnchen des ersteren ist Carbonat reichlich eingedrungen, welches auch breitere Spältchen erfüllt. Dünne Bänder einer basaltoiden Masse, mit dem umgebenden Basalt nachweisbar zusammenhängend, ziehen durch das Präparat; sie sind zur Hauptsache eisblumenähnlich devitrifiziert, hin und wieder mit klareren Glasfleckchen. In ihnen liegen nun in außerordentlicher Menge braungelbe scharfe Kriställchen von starker Lichtbrechung, mit vierflächig pyramidaler Begrenzung der Prismen, gerader Auslöschung, kaum pleochroitisch, welche dem Rutil angehören; sie sind durchschnittlich 0,1 mm lang, aber eine mit der Längsrichtung des Bandes übereinstimmend gestreckte dünne Nadel maß selbst 1 mm. Ist schon die Gegenwart des Rutils unter solchen Verhältnissen, als Ausscheidung aus einem integrierenden Teile des Basaltmagmas auffallend, so gesellt sich dazu die weitere Erscheinung, daß die Rutile an den Rändern des basaltoiden Streifens weit in die angrenzenden gröberen Quarzkörner hineinragen und daß nebenbei die wasserhelle Substanz der letzteren längs des Streifens mit einer Unzahl jener feinen Härchen erfüllt ist, wie sie, in den Granitquarzen liegend, als Rutile gelten. Es mag dahingestellt bleiben, ob hier die gemeinsame Gegenwart des Rutils in der basaltischen Abzweigung und

1) Zeitschr. d. geolog. Gesellsch. XXX. 1878. 157.
2) Mineralog. u. petrograph. Mitteil. VII. 1886. 295.

Digitized by Google

in dem benachbarten Quarz die Annahme einer Ausscheidung des letzteren unterstützt.

Was die Grenzausbildung des Basalts an den größeren Quarzeinschlüssen anbetrifft, so ist dort in der Regel nichts anderes wahrzunehmen, als daß das ohnehin sehr fein struierte Eruptivgestein noch feiner wird und alsdann unmittelbar am Kontakt dicht neben einander gereihte größere und dickere Augite ausgeschieden sind, welche radial auf der Grenze stehen, sodaß diese Augitzone schon beim Betrachten des Präparats mit der Loupe als schmales dunkelgelbliches Säumchen um den farblosen Quarz herumzieht. Die meist bräunlichgelben Augite haben mitunter, wie auch Dannenberg wahrnahm, grünliche Köpfchen oder grünliche Ränder, auch zeigen sich ein paar ganz grüne Prismen, doch ist dies kein Aegirin sondern ein diopsidartiger Pyroxen. Ein charakteristischer Porricinrand pflegt nicht um die größeren, sondern nur um die ganz kleinen Quarze ausgebildet zu sein. — Abgesehen von der oben erwähnten Umkristallisierung des Quarzes zu Tridymit ist mir eine eigentliche Einschmelzung oder randliche Regeneration desselben in den untersuchten Präparaten zu gewahren nicht gelungen.

Vorwiegend auf der Grenze verlaufend, aber auch wohl streckenweise in den Basalt oder in den Quarzeinschluß einbiegend, schiebt sich in manchen Fällen noch das Ausfüllungsmaterial von Kontraktionsrissen ein. Dasselbe besteht dann häufig aus einer Lage von absolut isotropem, farblosem oder ganz blaßgelblichem, hochgradig zerborstenem Opal, ohne jede weitere Einwachsung, welche auf den ersten Blick leicht mit einer Glaszone verwechselt werden könnte (Dannenberg erwähnt in der Tat (42) jenseits des Quarzes klares hellgelbes Glas). Mit diesem Opal ist Carbonat eng verbunden; es bildet einesteils etwas trübe Lagen am Basalt und am Quarzeinschluß von ganz feinkörniger Struktur mit charakteristischer Aggregatpolarisation, welche Lagen aber stellenweise in radialfaserige Bildungen mit prächtigem Interferenzkreuz übergehen; anderenteils erscheint das Carbonat als mikroskopische Gänge, welche sowohl jene mehr dichte Ausbildungsweise desselben, als auch den Opal kreuz und quer durchsetzen und ebenfalls noch in den Quarzeinschluß hineinziehen.

Wie in den Quarzfeldspat-Aggregaten so kommt auch, wenngleich seltener, in den körnigen Quarzeinschlüssen Sillimanit

Digitized by Google

in der Form von feinfaserigen Büschelchen, selbst bis 1 cm lang vor (z. B. Finkenberg). Vom Ölberg stammt ein Quarzaggregat mit makroskopischen Graphitblättchen. Sonst sind noch Körner und kleine Partien von Magnetkies in diesen, dann meist etwas milchig beschaffenen Quarzbrocken vorhanden. — Der scharfen Rinden von dunklem körnigem Augit um Quarzpartien wurde schon S. 129 gedacht. Um andere Quarze des Finkenbergs finden sich Säume eines feinen Feldspataggregats.

Ein bestimmtes Urteil über die Natur der in Rede stehenden Quarzeinschlüsse insbesondere des Finkenbergs abzugeben, fällt schwer, doch haben mich alle vergleichenden Erwägungen mehr zu der Anschauung geführt, daß sie hier am Ende auch noch zu den Urausscheidungen gehören dürften, als daß in ihnen exogene Fragmente vorliegen. Lacroix spricht sich allerdings mehrfach (z. B. 21, 43) auf das entschiedenste überhaupt gegen die Möglichkeit einer Quarzausscheidung in solchem Magma aus, und ich selbst habe früher (Lehrb. d. Petrogr. I. 1893. 796) eine ähnliche Überzeugung vertreten. Es scheint zur Zeit noch allgemein üblich, alle Quarzpartien unter die ganz fremden Bruchstücke zu rechnen, wie es z. B. auch von Dannenberg, M. Bauer u. A. geschieht; Rinne, welcher in der Anerkennung endogener Einschlüsse schon weiter geht, als Andere, hat aber doch überhaupt ein quarzhaltiges Material noch nicht dazu gezählt. Nur einmal ist es versucht worden, Quarzkörnern im Basalt einen endogenen Charakter zuzuschreiben: von Diller und Iddings für die merkwürdig gleichmäßig verteilten in Basalten Californiens, Nevadas uud Neu-Mexicos.[1]) Auffallend ist es eigentlich dem gegenüber, daß man die Quarzteile in den chemisch nahe verwandten Quarzdiabasen ohne Schwierigkeit und ohne Bedenken als primäre Ausscheidungen auffaßt.

Daß in unzähligen anderen Fällen der Basalt aus dem durchbrochenen Gebirge Stücke und Körner von Quarz in sich aufgenommen hat, braucht hier nicht besonders betont zu werden. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich eben lediglich auf das diesen Untersuchungen zu Grunde liegende Material.

Vor allem wird man die Quarze in Verbindung mit den anderen nicht-basischen Einschlüssen betrachten müssen, mit den

1) Americ. Journ. of sc. XXXIII. 1887. 45; XXXVI. 1888. 208; Bulletin U. S. geolog. survey, No. 66. 1890; No. 79. 1891. — Vgl. auch Goller über Quarz in Kersantitgängen, N. Jahrb. f. Mineralog. Beilageb. VI. 1889. 560.

Digitized by Google

aus Feldspaten bestehenden und den aus Feldspaten und Körnern eines Quarzes zusammengesetzten, welcher den reinen Quarzvorkommnissen in hohem Grade ähnlich ist. Sind die ersteren Partien wohl ohne Zweifel, die letzteren mit mancher Wahrscheinlichkeit Urausscheidungen, so ist die Anreihung der Quarzeinschlüsse an letztere nicht nur kein so bedenklicher Schritt über die Grenze des Erlaubten hinaus, sondern gewissermaßen eine Konsequenz. Gewann das Magma örtlich eine Zusammensetzung, wie sie dem chemischen Bilde der Quarzfeldspat-Aggregate entspricht, so würde es nur eine weitere Verfolgung der Spaltungstheorie sein, wenn man sich vorstellt, daß daraus nicht allemal ein solches gemengtes Aggregat der beiden Mineralien festzuwerden braucht, sondern hier ein größeres Haufwerk von Feldspatindividuen, daneben eine kleinere Quarzmasse entstehen kann.

Daß verfestigte Quarzausscheidungen mehr als anderweitige endogene Produkte der angreifenden magmatischen Wirkung anheimfielen, kann nicht wundern; die S. 189 angeführte Umsetzung in Tridymit wird erfolgen können, mag der Quarz ein endogener oder ein exogener Einschluß sein.

Im Vorhergehenden ist mehrfach auf die Bedeutung derjenigen Umrindungen von Einschlüssen hingewiesen worden, welche aus Mineralaggregaten bestehen, die selbst wieder als besondere Einschlüsse vorkommen. Auch bei der hier vorliegenden Frage fehlt ein solches bedeutungsvolles Argument für die Ausscheidungsfähigkeit und endogene Natur des Quarzes nicht: aus dem Finkenberg sind normale Olivinknollen bekannt geworden, versehen mit einer scharf abgegrenzten Rinde von echtem und reinem, etwas fettigem Quarz.

Wie weit sich diese Auffassungen auch noch auf sonstige der in den Basalten überhaupt vorkommenden Quarzeinschlüsse ausdehnen lassen, kann hier nicht untersucht werden. Ein ansehnlicher Teil der letzteren ist zweifellos, gemäß der zur Zeit verbreiteten Ansicht exogener Natur.

Picotit.

Abgesehen von seiner Beteiligung namentlich an den Olivinknollen und den dichten Glimmeraggregaten bildet der Picotit im Finkenberg auch größere selbständige, ganz oder fast ganz reine Partien, bis halbfaustdicke Klumpen, wie sie sonst wohl

Digitized by Google

nirgends vorgekommen sind, von pechschwarzer Farbe, selbst an den Kanten nicht durchscheinend. Auch die Präparate werden schwer lichtdurchlässig und nur an den sehr dünnen Rändern erhält man die Substanz gelblichbraun bis bräunlichgelb pellucid; sie erweist sich als ganz isotrop, auch längs der Sprünge nicht umgewandelt, ganz frei von Interpositionen. Dr. Reinisch wies in ihr einen Chromoxydgehalt von 7,25 % nach, woraus sich ergibt, daß hier nicht etwa Pleonast oder Hercynit vorliegt. Diese Picotitknollen enthalten häufig bis 3 mm große (keine eigentlich mikroskopischen) Olivinkörnchen in spärlicher Menge und von einer Erscheinungsweise wie in den Olivinknollen; andere führen kleine blaßgrünliche Feldspathe. Der an die äußerst zackig und irregulär verlaufende Picotitgrenze anstoßende Basalt ist ganz normal; doch liegt vielfach zwischen beiden eine conforme feine Schale radialstrahligen Carbonats, die aber auch streckenweise nahe der Grenze durch den Basalt zieht.

Apatit.

Die kleinen, mitunter über haselnußdicken Knöllchen von reinem Apatit, dunkelviolett oder grünlich und fettglänzend, welche schwerlich etwas anderes als Ausscheidungen darstellen, zeigen im Finkenberg dieselbe Mikrostruktur, wie die Apatite, die sich an den Augit-, Hornblende-, Feldspat- u. s. w. Aggregaten beteiligen.

Magnetkies.

Einschlüsse von Magnetkies gehören zu den am längsten bekannten; derbe reine Massen von gröberem oder feinerem Korn und bis zu 10 cm Größe kommen mit mehr oder weniger eckiger Begrenzung stets scharf umrandet direkt vom Basalt umschlossen vor (z. B. Godesberg, Lühnsberg, Finkenberg, Petersberg, Papelsberg, Minderberg). U. d. M. pflegt sich in diesen Fällen nichts Bemerkenswertes zu zeigen, meist grenzt ganz normaler Basalt an; kleine Höhlungen des Erzes sind örtlich mit Carbonat erfüllt. Daß um eine größere Magnetkiespartie auch trabantenähnlich kleinere Splitterchen direkt in dem Basalt liegen, ist von vorne herein zu erwarten und genetisch nicht weiter verwertbar. Derartige Einschlüsse sind vielfach als exogene Fragmente, vermutlich

Digitized by Google

herstammend von unterirdischen Magnetkieslagerstätten im devonischen Grundgebirge aufgefaßt worden; Dannenberg will (57) den Magnetkies „aus dem Granit herleiten". Neuere Aufsammlungen haben indessen für den Kies auch noch eine ganze Menge von weiteren Arten des Auftretens kennen gelehrt, nämlich eine reichliche Beteiligung an recht verschiedenen anderweitigen Einschlüssen im Basalt; letztere Vorkommnisse sind geeignet, die Richtigkeit jener Erklärung durchaus in Zweifel zu ziehen; so sind, z. T. in vielen Stücken, bekannt geworden (mehrfach deckt sich das Auftreten mit dem des Graphits):

1. Gemenge von körnigem Quarz mit manchmal viel Magnetkies. — 2. Reichlicher Magnetkies als große Körner in Quarzfeldspat-Aggregaten (z. B. Finkenberg). — 3. Augitführendes Quarzfeldspat-Aggregat mit magnetkiesreicher Peripherie. — 4. Ein überwalnußgroßer Einschluß, der zu $^4/_5$ aus Feldspatindividuen, zu $^1/_5$ aus blankem Magnetkies besteht, letzterer in bis erbsengroßen Partien. — 5. Magnetkies in sapphirhaltigem Feldspataggregat. — 6. Makroskopische Magnetkieskörnchen, von blauem Sapphir umschlossen, der unmittelbar im Basalt liegt. — 7. Häufiger und reichlicher Magnetkies in den Augitknollen, bald als feine isolierte Körnchen, bald als ein förmliches Geäder hindurchziehend; ähnlich 8. in den Hornblendeknollen und 9. in den Glimmereinschlüssen. — 10. Magnetkies mit Graphitschüppchen, letztere namentlich an den Rändern reichlich (z. B. ein 2 cm langer, 1 cm breiter Einschluß vom Finkenberg).

Bei der Art und Weise, wie sich so der Magnetkies als integrierender Bestandteil an sehr verschiedenen anderen Einschlüssen beteiligt, für welche die Natur als Urausscheidungen gewiß oder wenig zweifelhaft ist, wird man ihm hier wohl einen übereinstimmenden Ursprung aus dem Basaltmagma zuschreiben müssen, womit auch das öftere vorwiegende Gebundensein des Kieses an die Peripherie eines Einschlusses im Einklang stehen würde. Daß das Magma Schwefel enthalten kann, zeigt das Dasein der hauynhaltigen Basalte.

Gar nicht selten umschließen die Magnetkiespartien kleine splitterförmige und bis über centimetergroße rektanguläre Stückchen von blaßviolettlich grauem sog. Basaltjaspis, dessen mikroskopisches Verhalten ganz genau mit dem sonstigen übereinstimmt. Wenn dies ebenfalls darauf verweisen dürfte, daß der

Digitized by Google

Magnetkies eine Ausscheidung um dieselben darstellt, so darf andererseits nicht unerwähnt bleiben, daß am Finkenberg auch große Stücke von Basaltjaspis vorkommen, in deren Innerem eine Partie von Magnetkies sitzt. Ist der Basaltjaspis ein mehr oder weniger verändertes fremdes exogenes Bruchstück von toniger Grauwacke, so kann dem Kies hier schwerlich die Rolle einer Ausscheidung zugeschrieben werden; die beiden angeführten umgekehrten Umschließungen lassen sich genetisch kaum in gemeinsamer Weise deuten und müssen vorläufig rätselhaft bleiben. Auch Pohlig berichtet übrigens (Niederrhein. Gesellsch. 1892. 55) über einen großen „Magnetkieswürfel" (?) aus dem Basalt des Ölbergs, der zunächst von einer violetten „jaspisartigen" Lage umhüllt ist.

Magneteisen.

Die größeren Partien des Erzes erscheinen zumeist in der rundlichen Form des sog. schlackigen titanhaltigen Magneteisens, derb, eisenschwarz, ausgezeichnet muschelig brechend und glasflußähnlich (z. B. Unkeler Steinbruch, Scheidskopf, Godesberg, Kutzenberg, Nonnenstromberg, Jungfernberg, Finkenberg); dieselben erreichen beinahe Walnußgröße; in einer solchen Partie saß in der Mitte ein 7 mm langer Apatit. Über Mikrostrukturelles kann nichts angeführt werden, da die Substanz auch bei größter Dünne total impellucid bleibt. — Dannenberg glaubt (56), daß die schlackig aussehenden Magneteisenmassen wohl stets als fremde Einschlüsse betrachtet worden seien; Lehmann hält bei der Besprechung eines Vorkommens die Herkunft aus einem sehr grobkristallinischen Gestein für nicht zweifelhaft (8, 9). Angesichts des Auftretens von mikroskopischem Magnetit im Basalt und in Erwägung des über Sapphir und Zirkon Angeführten ist gar keine Veranlassung, für das Dasein größerer Partien des Erzes ein dieselben ursprünglich umschließendes „Muttergestein" verantwortlich zu machen, aus welchem sie isoliert worden seien.

Graphit.

Über das Vorkommen von Graphit war früher fast nichts bekannt; er wird z. B. weder von Bleibtreu, noch von Dannenberg oder Laspeyres erwähnt. Neuerdings ist er jedoch häufig und

Digitized by Google

in abweichendem Auftreten gefunden worden, insbesondere in dem Finkenberg. O. Becker macht darüber (72, 75) eine Anzahl zutreffender Angaben. Nach diesen und weiteren eigenen Beobachtungen findet sich der Graphit makroskopisch ausgebildet:

1. Ohne weitere Begleitschaft als selbständige Partien direkt im Basalt; Herr Kleutgen besitzt z. B. ein altes vielbetrachtetes und früher für Molybdänglanz gehaltenes Vorkommen dieser Art, eine bohnengroße Graphitpartie mit gewölbter blätteriger Oberfläche, unmittelbar vom Basalt des Ölbergs umschlossen.

2. als feine, mitunter scharf sechsseitig ausgebildete Blättchen in den körnigen Quarzaggregaten (Finkenberg, Ölberg); ferner nach O. Becker (73) ebenso 3. in Feldspatpartien.

4. in ganz ähnlicher Weise und bisweilen recht reichlich in den Quarzfeldspat-Aggregaten, von denen viele graphithaltige Proben vorliegen. O. Becker beschreibt auch einen durch Graphitstaub dunklen Plagioklaseinschluß vom Finkenberg, worin sich wenig grauer Korund, reichlich Magnetkies und in der Mitte eine 10 : 10 mm dicke Partie von starkglänzendem Graphit eingelagert finden. Hierher gehört wohl auch die Angabe v. Dechens (157, die einzige ältere über das Mineral), daß im Basalt des Minderbergs bei Linz „Granitstücke" eingeschlossen vorkommen, in denen gar kein Glimmer, sondern an dessen Stelle Graphit enthalten ist.

5. in den Magnetkieseinschlüssen, bald als kleine blätterige Partien zugegen, bald die Fugen der Kieslamellen überziehend; auch kommen Magnetkiespartien vor, wo die Schüppchen des Graphits am Rande beträchtlich angereichert oder dort lediglich vorhanden sind. In olivinischen oder pyroxenischen Einschlüssen ist Graphit wohl nicht beobachtet.

Die Art und Weise des Auftretens macht die Ausscheidung aus dem Basaltmagma wahrscheinlich. Eine gewisse Analogie läge mit den Basalten Grönlands vor: hier sind nicht nur die darin enthaltenen Massen von gediegenem Eisen mit Graphit verknüpft, sondern Steenstrup fand Graphit auch in grönländischen Basalten, welche kein metallisches Eisen erkennen lassen, sowohl in gleichmäßiger Verteilung, als zu rundlichen Kügelchen zusammengeballt, als im Feldspat fein eingewachsen.[1])

1) K. J. V. Steenstrup (und Lorenzen), Ztschr. d. geol. Gesellsch. XXVIII. 1876. 228, 231; XXXV. 1883. 697.

Digitized by Google

Es gelangte auch eine Reihe von Objekten zur Untersuchung, die sich als völlig eingeschmolzene und auf neue Weise verfestigte alte Einschlüsse bekundeten, bei denen nichts auf die ehemalige Mineralführung und Struktur mehr hinwies; z. B. kaffeebraune Gläser mit ausgeschiedenen farblosen Kristallen und skelettähnlichen Wachstumsformen von Feldspat, sowie grünen Pyroxenen, auch wohl winzigen Spinellen oder vereinzelten himmelblauen Sapphirprismen. Die Beschreibung solcher Vorkommnisse, welche u. a. im Finkenberg kaum vorhanden, im Ölberg recht reichlich sind, liegt aber außerhalb des Rahmens dieser Abhandlung, da sie zur Entscheidung der darin speziell behandelten Fragen nichts beitragen können. Aus demselben Grunde wird auch hier auf die Veränderungen nicht eingegangen, welche unzweifelhafte exogene Fragmente, z. B. von quarzreicher feinklastischer Grauwacke oder von mergeligem Sandstein zu sog. Basaltjaspis oder verglastem Sandstein erfahren haben.

Digitized by Google

ÜBER DEN BAU DER NEUROGLIA UND ÜBER DIE WAND DER LYMPHGEFÄSSE IN HAUT UND SCHLEIMHAUT

VON

HANS HELD.

Des XXVIII. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° IV.

MIT 3 FIGUREN IM TEXT UND 4 LITHOGRAPHIERTEN TAFELN.

LEIPZIG
BEI B. G. TEUBNER.
1903.

Digitized by Google

Vorgetragen für die Abhandlungen am 11. Januar 1903.
Das Manuskript eingeliefert am 18. März 1903.
Der letzte Bogen druckfertig erklärt am 14. Juni 1903.

ÜBER DEN BAU DER NEUROGLIA UND ÜBER DIE WAND DER LYMPHGEFÄSZE IN HAUT UND SCHLEIMHAUT

VON

HANS HELD.

Digitized by Google

I. Bau der Neuroglia.

Als *Elemente der Neuroglia* gelten seit VIRCHOW[1]) diejenigen Zellen der grauen und weißen Substanz, welche allgemein den *Nervenzellen und ihren Fortsätzen zwischengelagert sind und sie einhüllen.* Sie sind, wie heute wohl allgemeiner angenommen wird, ebenso wie diese *ectodermaler Natur* und werden ebenfalls wie sie im Wege der Entwicklung zu komplizierten *multipolaren Zellformen.* Sie unterscheiden sich aber einmal dadurch, daß alle ihre Fortsätze gleichartiger sind und zum Teil auch bleiben und nie in *Nervenfasern übergehen,* sondern zu einem Teil vielmehr besondere *Scheiden um dieselben, sowie um ihre Nervenzellen* ausprägen; daß sie *zweitens keine* NISSL-*Körper* in ihrem Protoplasma produzieren und anhäufen; daß sie *drittens* zum großen Teil einen *Filz* von besonders beschaffenen *Neurogliafasern* entstehen lassen, der einen gewissen festeren Halt für die nervösen Elemente des Zentralnervensystems abzugeben vermag; daß sie *viertens* endlich die *Bildung bestimmter Grenzhäute* ermöglichen, die für den völligen Abschluß des Zentralnervensystems im engsten Sinne des Wortes entscheidend ist.

Von diesen Eigenschaften der Neuroglia will ich hier näher und zuerst diejenige besprechen, welche das *Verhältnis der Neurogliafasern zu den Neurogliazellen* umfaßt und als ein noch strittiger Punkt in der heutigen Lehre vom inneren Bau der Neuroglia gilt, um dann in späteren Abschnitten außer anderem den *Begriff der gliösen Grenzmembran* zu entwickeln, der bisher für eine Lehre vom Abschluß der eigenen Masse des Zentralnervensystems gegenüber den es durchsetzenden Blutgefäßen bereits zum Teil bekannt geworden ist.

Digitized by Google

1. Neurogliazellen und Neurogliafasern.

Gegenüber der älteren von KÖLLIKER[2]), DEITERS[3]) und GOLGI[4]) aufgestellten Lehre, daß die Neurogliazellen als stern- oder spinnenförmig verzweigte Zellgebilde eine Menge von Ausläufern besitzen, die schließlich und bald faserdünn werden und sich zwischen den nervösen Elementen der grauen und weißen Substanz verschränken, ist von RANVIER[5]) und WEIGERT[6]) die Meinung aufgestellt worden, daß die Neurogliafasern keine Zellfortsätze sind, sondern von der Neurogliazelle gesonderte und zu ihr unabhängig gewordene Faserbildungen bedeuten. RANVIER ist durch eine besondere Isolationsmethode mit nachfolgender Picrocarminfärbung zu diesem Ergebnis gekommen; WEIGERT hat eine neue eigenartige Färbungsmethode von dünnen Schnitten hinzugefügt, welche am menschlichen Zentralnervensystem mit großer Schönheit diese besondere Faserung der Neuroglia und ihre verschiedene topographische Anordnung und Wertigkeit gezeigt hat. Auf Grund seiner differenzierten Färbung, die *außer den Gliafasern nur noch Kerne sichtbar* macht, kommt WEIGERT zur allgemeinen Ansicht, daß 1) die Neurogliafasern zwar mit den bisher so aufgefaßten Ausläufern der DEITERSschen Spinnenzellen oder der GOLGIschen Gliazellen identisch sind, aber 2) trotzdem keine eigentlichen Zellfortsätze bedeuten, weil sie von ihrem Protoplasma stofflich durchaus verschieden sind. Damit kommt dann WEIGERT zu dem besonderen Schluß, daß die bekannten Bilder von verästelten Neurogliazellen bei gewöhnlichen Färbungen und vor allem bei der GOLGIschen Silbermethode nur Trugbilder wären und also die Neuroglia morphologisch nach dem Typus der Bindesubstanz gebaut sei und zweierlei enthalte, Zellen und von ihr *total emanzipierte, rein zwischengefügte Faserbildungen*, die nur noch in „Kontiguität mit dem Zellleib" ständen.

Ist wirklich diese WEIGERTsche Behauptung, daß die *Neurogliafasern* eine *Interzellularsubstanz* im Sinne von MAX SCHULTZE seien, richtig? Kann die WEIGERTsche Methode überhaupt beweisen, daß die Neurogliafasern eine derartig modifizierte Zellsubstanz vorstellen und daß sie also nicht mehr unmittelbar mit den Neurogliazellen zusammengehören?

Bei der WEIGERTschen Färbung ist außer den dunkelblau sichtbaren Neurogliafasern nur noch der Kern der Zelle gefärbt,

Digitized by Google

während das Protoplasma total entfärbt und unsichtbar geworden. Eine derartige Restfärbung kann nach meiner Meinung wohl den Schluß zulassen, daß jene Fasern etwas besonderes in ihrer Masse bedeuten und auch verschieden vom übrigen Protoplasma sein können, aber nie eine Berechtigung geben, zu entscheiden, daß die einzelnen Gliafasern als echte Interzellularsubstanz auch wirklich außerhalb des Protoplasmas jener Zellen liegen, da ja von den Zellen selber bei derartigen Präparaten außer ihrem Kern nichts mehr zu sehen ist. Wie kann man also mit irgend welcher Sicherheit ausschliessen, daß die Gliafasern nicht im Protophasma drinliegen? Daß sie, wie die Weigertschen Bilder zuerst gezeigt, am Kern vorbei und unter sich übereinander gekreuzt verlaufen, hat doch für diese Frage nach einer interzellulären Lage gar keine Bedeutung. Hiermit stimme ich ähnlichen Ausführungen von Lenhossék bei.

Im Folgenden werde ich deshalb in der *Hauptsache zunächst untersuchen müssen,* ob die bei *starker oder reiner Differenzierung vom Gliazellenprotoplasma vollständig unabhängig erscheinenden Gliafasern auch wirklich interzellulär* liegen, wie Weigert aus einem an und für sich unzureichenden Grunde geschlossen hat, oder noch irgendwie *innerhalb jener Zellen.* Vorausschicken will ich kurze Betrachtungen über das, was inzwischen für oder gegen die Ranvier-Weigertschen Behauptungen angegeben worden ist.

Zuerst hat Pellizzi[7]) gegen Weigert gesagt, daß nur seine Methode zellenabhängige Gliafasern zeige; in Wirklichkeit gingen sie aus dem Zellkörper hervor. Dann hat v. Kölliker[8]) sich gegen die neu-alte Ranvier-Weigertsche Ansicht von der Neuroglia ausgesprochen. Von seiner Beobachtung ausgehend, daß sehr viele Golgische Gliazellen wie aus zwei Teilen bestehen, einem Zellenkörper und einer demselben einseitig ansitzenden Platte, von welcher die Ausläufer abgehen, stellt er hier zur Erklärung jener Ansicht die Hypothese auf, „daß die Golgischen Zellen aus einem Teile ihres Protoplasma *einseitig* eine mit Ausläufern versehene Platte erzeugen, welche anfänglich und so lange die Ausläufer noch sich verlängern mit dem kernhaltigen Teile des Zellprotoplasma innig und unmittelbar zusammenhängt, später jedoch in vielen Fällen eine andere Dichtigkeit und vielleicht auch eine etwas abweichende chemische Konstitution gewinnt und von diesem Zeitpunkte an unter gewissen Umständen von dem Zellen-

Digitized by Google

körper sich trennen läßt". Daß diese Hypothese nicht richtig ist, werde ich weiter unten zeigen. Dann hat REINKE[9]) ausgeführt, daß die Neuroglia der weißen Substanz des Rückenmarks aus zahlreich verästelten Zellen bestände, deren Ausläufer zum Teil rein protoplasmatisch sind. Als Produkte der Gliazellen müssen die Gliafasern gelten; sie liegen aber nur zum Teil in ihrem Protoplasma, während andere nur noch äußerlich anliegen und eine dritte Art ganz emanzipiert geworden ist. Protoplasmafortsätze und Neurogliafibrillen sollen verschiedene ja entgegengesetzte Richtung haben. Zur gleichen Zeit habe ich[10]) gezeigt, daß nur auf total differenzierten Präparaten die WEIGERTschen Gliafasern selbstständig erschienen. Bei Anwendung andersartiger Methoden, die beides, Fasern und Gliazellenprotoplasma zugleich und verschieden gefärbt erkennen ließen, seien die Gliafasern durchaus noch mit dem Protoplasma bestimmter Zellen verbunden. Deshalb wären sie als intrazelluläre Bildungen zu betrachten, weil sie z. T. aus spongioplasmatischen Zellfäden hervorgingen, die sich zwar weiterhin zu stärkeren und auch freieren Fasern anscheinend vereinigen könnten, aber nicht den Zusammenhang mit ihren Zellen verlören. Weiter hat ROBERTSON[11]) gegen die WEIGERTsche Ansicht einen rein zelligen Bau der Neuroglia betont. Nach ihm sind wohl im Sinne der v. KÖLLIKERschen Hypothese von einer ausläuferreichen Zellplatte der GOLGIschen Gliazellen die Zellkörper der Gliazellen mit einer dünnen, leicht schrumpfenden und besonders färbbaren Membran versehen, die mit den anscheinend selbständig an der Zelle vorbeiziehenden Gliafasern aber noch verbunden ist. Auch nach v. GEHUCHTEN sind die WEIGERTschen Bilder so zu erklären, daß die Gliafasern nur als chemisch differente Zellausläufer allein gefärbt bleiben, während sie in Wirklichkeit mit dem Zellkörper fest verbunden sind. Auch EURICH[12]) gibt von den Neurogliafasern an, daß sie keineswegs alle von den Zellen unabhängig sind.

WHITWELL[13]) dagegen behauptet im Sinne WEIGERTS, daß die Neurogliafibrillen keine Zellfortsätze sind, sondern ein von ihnen unabhängiges Flechtwerk bilden, in dessen Maschen von zugleich lymphatischer Funktion Neurogliazellen und Nervenzellen und Blutgefässe eingefügt sind und wie der Inhalt eines Korbes getragen werden. Seine ferneren Angaben sind, daß diese Fibrillen stark lichtbrechend sind, nicht aus Neurokeratin noch Elastin bestehen, aber beträchtliche elastische Eigenschaften haben, was

Digitized by Google

letzteres aus ihren Krümmungen unter gewissen Bedingungen hervorgehen soll.

Die folgenden Arbeiten sprechen zum größten Teil wiederum gegen Ranvier-Weigert. Unter diesen gehen die Untersuchungen von Brodmann[14]) und Yamagiva[15]) von der Ausbildung der Astrocyten in Gliomen aus. Brodmann kommt allerdings zu dem Resultat, daß seine histologischen Befunde „eine Hauptstütze für die von Weigert begründete neue Lehre von der normalen menschlichen Neuroglia" bilden. An und für sich zeigen aber seine Befunde Zellen mit strahlig verzweigten und konisch aus dem Zellprotoplasma entspringenden Fortsätzen, deren „Ränder jedoch dunkler tingiert" sind. Peripheriewärts gehen dann derartig konturierte Zellausläufer in eine oder mehrere Fasern über, die Gliafasern vorstellen und nicht mehr unter einander anastomosieren. Nur besondere, breite und fibrillenstreifige Fortsätze gehen zur „perivaskulären Gliascheide". Bei diesem Befund kommt aber Brodmann auf dem Wege einer komplizierteren Schlußfolgerung zu dem obigen Resultat, weil er erstens meint, daß im normalen Gliagewebe die Gliafasern keine Zellbeziehungen mehr haben können, da die Weigertsche Methodik nur im pathologischen Material derartige Bilder von faserdifferenzierten Astrocyten zeige, und weil er sich zweitens die Vorstellung gebildet hat, daß die Astrocyten als Bildungszellen der Neurogliafasern „verschwinden", sobald der „Prozeß der Fibrillation" zu Ende ist.

Yamagiva hat mit einer eigenen Methode ebenfalls ein Thalamusgliom untersucht und danach auch normales Gehirn berücksichtigt. Seine Methode zeigt außer anderem eine „gleichzeitige Kontrastfärbung der Gliafasern (rot) und des Protoplasmas der Gliazellen (schwachviolett)". Er sieht „feine, rote Punkte als Querschnitte der feinen Gliafasern in der peripherischen Schicht des Zellleibes" und „Zellkomplexe, welche verschiedentlich von den Fasern begrenzt sind" und kommt zu dem einfachen Resultat, „daß die *Gliafasern differenzierte Interzellularsubstanz* darstellen, welche aber *nicht ganz oder nicht überall von den Zellen getrennt*" sei. Er kommt also damit zu einem Resultat, welches schon früher Ströbe[16]) so formuliert hatte, daß ein *„organischer Zusammenhang" zwischen dem Zellleib und den Gliafasern* vorhanden wäre.

Umfangreicher hat Storch[17]) die pathologischen Vorgänge am Gewebe der Neuroglia beobachtet; er meint, daß die Glia-

Digitized by Google

fasern unabhängige Interzellularsubstanz seien und will nur für die Monstrezellen gelten lassen, daß um den Kern herum eine deutliche oder größere Protoplasmamasse angehäuft sei, die in faserhaltige Ausläufer gegliedert ist und auch sonst im Zellleib mit passierenden Gliafasern verbunden ist. Gewisse Rückbildungsvorgänge an diesen krankhaft geschwollenen Gliazellen sollen dann erst zu jener Form führen, die KÖLLIKER für normale Gliazellen gehalten und an denen er seine Grundlage für die Aufstellung jener Ansicht über die Entstehung der Gliafasern aus einer Zellplatte gefunden habe. Auf einige andere Angaben STORCHS, die zum Teil auch noch die Gefäßbegrenzung durch Gliafasern betreffen, werde ich weiter unten zurückkommen.

In ausführlicheren und tiefgehenden Untersuchungen hat dann E. MÜLLER[18]) von dem Neurogliagewebe der niederen Wirbeltiere nachgewiesen, daß die Gliafasern „sowohl morphologisch wie physikalisch-chemisch als Differenzierungsprodukte der Gliazellen" zu betrachten sind, daß aber noch zum Unterschied von den WEIGERTschen Behauptungen, *Anfänge wie Enden von Gliafasern* da sind; und zwar finden sich letztere an den Gefäßen und an einer subpialen Schicht, erstere in den Gliazellen, aus denen sie teils einzeln, zum Teil auch als eine Summe einzelner konvergierender Fäden in meinem früheren Sinne hervorgehen und auslaufen. Im übrigen meint E. MÜLLER, daß „die Neuroglia einen Übergang zwischen dem rein epithelialen Gewebe und dem Bindegewebe" bilde, insofern sich eine Anzahl von Zellen aus dem primären Ependym loslösen und zu relativ freien Gliazellen werden, welche dann ebenso wie jene Stützfasern produzieren, die aber zum *Unterschied von denen des Bindegewebes nicht selbständig werden, sondern mit ihren Zellen verbunden bleiben.*

Von den neuesten Arbeiten über die Neuroglia kommen dann noch für unsere Frage nach dem Verhältnis zwischen Neurogliafasern und Neurogliazellen hauptsächlich die Untersuchungen von STUDNIČKA[19]), OBERSTEINER[20]), MARINESCO[21]), DIMITROVA[22]), HUBER[23]) und HARDESTY[24]) in Betracht.

Die Beobachtungen von STUDNIČKA zeigen einen Zusammenhang der gliösen Ependymfasern mit dem Protoplasma der Ependymzellen und zwar auch am menschlichen Nervensystem, wo WEIGERT einen solchen Zusammenhang nicht hatte beobachten können.

Digitized by Google

Ebenso spricht sich Obersteiner für die Gliazellen an der Oberflächenzone der grauen Großhirnrinde *gegen* die Weigertsche Lehre aus. Auch in den Gliaelementen der Zirbeldrüse findet Dimitrova dieselben vielfach nur als *differenzierte Zellfortsätze*, während *andere frei oder den Zellen nur äußerlich angelagert* sein können.

Marinesco und Huber stehen dagegen mehr auf dem Boden der Ranvier-Weigertschen Lehre. Vor allem betont ersterer, daß die *faserige Glia unabhängig von der zelligen Glia sei*, wenn er auch zugibt, daß *es außerdem protoplasmatische Fortsätze der Neurogliazellen* gebe, welche *in der Gefäßwand* endigten und besonders erst in *pathologischen Prozessen* der Glia deutlicher würden.

Huber rechnet ebenfalls die Gliafasern zu den Interzellularsubstanzen aber aus *dem Grunde*, weil die *größte Anzahl derselben keine gleichmäßigen Beziehungen zur Masse der Gliazellen* habe, hebt aber außerdem hervor, daß es bei gleichzeitiger Beobachtung und Färbung des Gliazellenprotoplasmas Zellen gäbe, die protoplasmatische Fortsätze erkennen ließen, *von denen die Gliafasern nicht vollständig getrennt wären*, und mit deren *Seitenflächen sie irgendwie kontinuierlich verbunden* wären. Huber hat bei Hund, Katze, Kaninchen, Taube, Schildkröte und Frosch die allgemeinen Verhältnisse von Gliafasern und Gliazellen studiert. Die chemische, d. h. in färberischer Differenzierung sich geltend machende Unabhängigkeit der Faserung ist nach ihm bei diesen verschiedenen Tieren ungleich; am stärksten ist sie bei Hund, Katze und Schildkröte, am wenigsten bei der Taube ausgeprägt.

Fasse ich kurz die *Resultate der obigen Literatur über den Bau der Neuroglia* zusammen, so erscheint als ein unbestrittenes Verdienst der Ranvier-Weigertschen Untersuchungen über die Elemente dieses zentralen Stützgewebes die Lehre, daß die *Neurogliafasern ihrer chemisch-physikalischen Natur nach besondere Faserbildungen* im Gewebe der Neuroglia bedeuten; die *andere Behauptung* aber, daß die *gliöse Fasermasse* eine reine und von den Gliazellen *unabhängige Interzellularsubstanz* sei, die nur lose dem Protoplasma jener Zellen „per contiguitatem“ anliege, erscheint dagegen bereits unrichtig.

Zur weiteren Begründung aller jener Beobachtungen, die dieser letzteren Ansicht von einer Interzellularsubstanz in der Neuroglia entgegenstehen, und zur Fortsetzung jener früher von

Digitized by Google

mir kurz erhobenen Einwände, komme ich also hier auf meine obige Fragestellung zurück, um zu untersuchen, ob, wie WEIGERT *speziell für die Neuroglia des Menschen* angegeben, die *Gliafasern auch wirklich ausschließlich interzellulär liegen, oder ob sie noch irgend eine Verbindung mit dem Gliazellenprotoplasma haben.*

Eigene Beobachtungen und eine allgemeine Einteilung der Neuroglia.

Meine folgenden Angaben betreffen in der Hauptsache das zentrale Nervensystem des Menschen, das ich am neugeborenen und einige Monate alten Kinde sowie am Erwachsenen von Anfang und Mitte der zwanziger Jahre untersucht habe. Daneben habe ich noch Kaninchen und Hund und stellenweise das Rückenmark von Kalb und Rind berücksichtigt. Bei der Erklärung der einzelnen Figuren auf Tafel I—IV habe ich zu ihrer besonderen Begründung kurze methodische Angaben gemacht. Sonst gehe ich aber an dieser Stelle auf die Methodik der Untersuchung der Neuroglia nicht ein, weil ich noch nicht über eine glatte und überall ausreichende Färbung der Neuroglia verfüge, die vor allem als eine spezifische Färbung für diese zentrale Stützsubstanz sicher wäre. Immerhin habe ich meine abschließenden Beobachtungen aus solchen Stellen meiner Schnitte gezogen, die irgend eine Verwechselung von Gliafasern mit Nervenfasern infolge von verschieden großer Entfärbung beider Elemente oder auch totaler Entfärbung der Achsencylinder verhindern konnten. Auf die architektonische Gliederung der gliösen Stützsubstanz werde ich ebenfalls bei der Schilderung meiner Befunde im folgenden nicht eingehen, da ich hier nur das elementare Verhältnis von Zelle und Faser zu berücksichtigen habe. Erst im dritten Abschnitt, wo ich auf die *marginale Neuroglia* näher eingehe, werde ich einige der WEIGERTschen Angaben über die Topographie der Neurogliafaserung zu kritisieren haben.

Um eine handliche Gliederung für die Besprechung der an den verschiedenen Regionen des Zentralnervensystems gemachten Beobachtungen zu haben, will ich kurz eine solche hier entwickeln, die zugleich eine *allgemeine Einteilung der Neuroglia* erlaubt. Ihre Begründung wird aus den folgenden Abschnitten klar werden; sie stützt sich auf das regionäre und zugleich bestimmte Ver-

Digitized by Google

hältnis von Neurogliazellen und ihren Gliafasern als einem genetischen und dauernden Anteil an der allgemeinen Masse der Neurogliazellen selber.

Ich unterscheide zunächst eine *Substantia Neurogliae centralis.* Sie entspricht dem, was bisher als Substantia gelatinosa centralis bezeichnet worden ist. Seitdem durch Weigert für die Zone um den Zentralkanal des Rückenmarks resp. für diejenigen an den Wandungen der Gehirnhöhlen der außerordentliche Reichtum an Neurogliafasern bekannt geworden ist, geht es nicht mehr an, jenen früheren Namen zu gebrauchen, der aus einer mangelnden Erkennung der elementaren Zusammensetzung dieser Gegend stammt und außerdem noch für eine andere Gegend, die substantia gelatinosa des Hinterhirns angewandt wird, die gerade umgekehrt, wie Weigert erkannt, sehr arm an Gliafasern ist. Ich schlage deshalb die Bezeichnung Substantia Neurogliae centralis für jenen obigen Abschnitt von Gehirn und Rückenmark vor. Unterscheiden will ich ferner an ihr *zwei Anteile*, die *ependymäre Neuroglia*, welche von den Ependymzellen selber und ihren gliafaserhaltigen Fortsätzen gebildet erscheint, und die *subependymäre Neuroglia*, die von einer mehr zerstreuten Masse allseitig verzweigter Neurogliazellen und ihrer Fasermenge zusammengesetzt ist. Im weiteren Umkreis würde die subependymäre Neuroglia in *die Summe von Gliazellen* sich fortsetzen, welche *im allgemeinen in weiter und also diffuser Anordnung bereits den nervösen Elementen, den Nervenfasern resp. den Nervenzellen zwischengefügt* ist, sonst aber in örtlich wechselnder Weise eine verschiedene und besonders angepaßte Formung ihrer stützenden Teile zu jenen nervösen Zellen und ihren Fortsätzen zeigt. Ich will sie als *diffuse Neuroglia* bezeichnen; sie gliedert sich allgemein in eine solche der *grauen* und in eine solche der *weißen Substanz.* Zu *trennen* bleibt endlich eine *Masse von Gliafasern,* die weniger scharf auch einer bestimmten Zone von Gliazellen entspricht, insofern sie sowohl von den Zellen der diffusen als auch der subependymären und ependymären Glia geliefert wird; sie ist durch ihre *engen und wichtigen Beziehungen zur äußeren Oberfläche* des Zentralnervensystems oder zu den *inneren Blutwegen* desselben charakterisiert. Ich will sie als *marginale Neuroglia* bezeichnen. Wie ich im dritten Abschnitt auseinandersetzen werde, ist sie es, die in *besonderer Weise die Hisschen Räume des Gehirns der Eigenmasse des Zentralnervensystems*

Digitized by Google

gegenüber abschließt und natürlich begrenzt; sie liegt dementsprechend teils an der freien, teils an der inneren Oberfläche des Gehirns und bestimmt somit entweder den *Epicerebralraum* resp. die *perivaskulären Räume.*

Nach dieser Einteilung der Neuroglia habe ich auf die elementare Zusammensetzung derselben aus Zellen und Fasern in der obigen Fragestellung einzugehen.

a) Substantia Neurogliae centralis.

Die die Substantia Neurogliae centralis der Ventrikelhöhle oder dem Zentralkanal zu begrenzenden *Ependymzellen* sind *ungefähr epithelartig* gestellt. Ein erheblicherer Unterschied besteht nur insofern, als durch späte postembryonale Verschiebung der einzelnen Zellelemente bei einzelnen Tieren und insbesondere beim Menschen der reine Charakter einer geschlossenen, flächenhaft verklebten Reihe länglicher Zellen, wie er z. B. beim erwachsenen Kalb und Rind zu beobachten ist, verloren oder verändert werden kann. Beim neugeborenen und einige Monate alten Kind, das ich habe untersuchen können, sind noch reine Epithelauskleidungen zu beobachten. Beim 21 Jahre alten Hingerichteten dagegen ist bereits durch Proliferation der Ependymzellen an der dorsalen und ventralen Ecke des Zentralkanales eine Vermehrung und eine entsprechende periphere Verschiebung und Formänderung der einzelnen Zellen zu unregelmäßig eckigen Gebilden eingetreten. Bei einem 24 Jahre alten Hingerichteten habe ich bereits den ganzen Zentralkanal obliteriert und von faserreichen Gliazellen ausgefüllt gefunden, was auch noch bei einem zweiten, wenige Jahre älteren Mann der Fall war. Die von WEIGERT auf Tafel IV, Fig. 4 abgebildeten Verhältnisse, die auch nach ihm zu den natürlichen Altersveränderungen gehören, habe ich hier wiedergefunden. Beim erwachsenen Kaninchen (Fig. 1 auf Tafel 1) und beim Hund sind dagegen Verhältnisse ausgeprägt, die eine erheblichere Asymmetrie und gegenseitige Entfernung der einzelnen Zellelemente sowohl in ihrer seitlichen Stellung als auch in ihrer Tiefenausdehnung von einander zeigen. Ein gleiches fand sich am Ependym des IV. Ventrikels vom Hingerichteten (Mitte der 20er Jahre), sodaß ich also die umfangreichen Angaben von STUDNIČKA bestätigen kann, die als Eigentümlichkeiten derartiger Ependymzellen gegenseitige seit-

Digitized by Google

liche Anastomosen rein protoplasmatischer Natur zeigen. Eine zweite Frage, auf die ich hier noch kurz eingehen will, ist kürzlich von Fuchs[25]) wieder hervorgeholt worden, der das innere Ende der Ependymzellen auf Basalkörperchen und Flimmerhaare bei Embryonen von Meerschwein, Schwein, Maulwurf, Kaninchen, Ratte sowie von jungen und alten Katzen untersucht hat und jene Charakteristika echter Flimmerzellen hier vermißt hat. Gegen die Fuchssche Behauptung sprechen die bekannten älteren Angaben von der am frischen Ependym sichtbaren Flimmerung (s. Kölliker, Gewebelehre II. 1896. S. 144). Was speziell das Vorkommen von Basalkörperchen an den Flimmerhaaren anbetrifft, so hat das bekanntlich zuerst Weigert (1890) für den Menschen und zwar am embryonalen Ependym behauptet gehabt und später hinzugefügt, daß er sie am neugeborenen und einige Monate alten Kinde dagegen nicht mehr gesehen habe. Daß sie aber auch beim erwachsenen Mensch vorkommen, hat Studnička vom Ependym des IV. Ventrikels angegeben. Im übrigen hat bereits in Halle Benda hervorgehoben, daß er an den Ependymzellen des Seitenventrikels überall die für Flimmerepithel charakteristischen Basalkörperchen gefunden habe. Ich will hier hinzufügen, daß ich selber *stellenweise oder umfangreicher* am Boden des IV. Ventrikels beim reifen Katzenfötus, der neugeborenen Katze, beim 4 Wochen alten Hund, ferner im Zentralkanal und der Rautengrube vom neugeborenen Kind, dem erwachsenen Kaninchen und Hund deutliche Basalkörperchen und steife Flimmerhaare habe beobachten können. Ich rechne sonach ebenfalls das Ependym wenigstens teilweise zum Flimmerepithel, wenn ich auch nicht hier entscheiden will, ob regelmäßig und immer eine konstante Ausbildung des Flimmerbesatzes eintritt oder mitunter ausbleibt.

Nach Studnička soll eine normale Flimmerung nicht überall bestehen, sondern auch eine mit eigentümlichen starren Stiftchen versehene Zellformation eintreten können. Im Centralkanal des Kaninchens finde ich überall Flimmerhaare und Basalkörperchen, beim Hund vereinzelte Ependymzellen, die das nicht mehr zeigen; beim einige Monate alten Kinde habe ich dagegen umgekehrt nur vereinzelte Flimmerzellen mit deutlichen Zeichen gefunden. Das spräche für eine *partielle Ausbildung des Ependyms zum Flimmerepithel.*

Auch am erwachsenen Ependym zeigen nun die einzelnen *Ependymzellen periphere* und für den Zentralkanal oder auch den

Digitized by Google

Aquaeductus Sylvii ziemlich rein radiär angeordnete *protoplasmatische Fortsätze*, die denjenigen entsprechen dürften, welche durch die GOLGIsche Methode im embryonalen Gehirnrohr bekannt geworden sind. Nur die der vorderen Rückenmarksspalte, dem Septum posterius oder der Raphe des Hirnstammes zustrebenden Fortsätze der Bündel von solchen sind durch eine geringe bogenförmige Zusammendrängung ein wenig vom rein radiären Verlauf auf dem Querschnitt abgelenkt.

Beim Kaninchenrückenmark sind diese beiden Anteile aus sehr groben Fortsätzen zusammengesetzt. Beim Hund sind sie schon weniger stark. Bei Kalb und Rind finde ich dieselben dagegen gleichmäßiger aus mehreren feineren Fortsätzen gebildet, sodaß sie sich auch wenig von der rein seitlichen und zur grauen Substanz beiderseits gekehrten Gruppe von Ausläufern durch Kaliber unterscheiden. Beim Menschen und auch bei der Katze sind wiederum Verhältnisse, die an diejenigen des Kaninchens erinnern, wenn sie auch nicht so einseitig stark entwickelt worden sind. Für den Boden des IV. Ventrikels will ich hinzufügen, daß auch der „Ependymkeil der Raphe" am erwachsenen Nervensystem von stärkeren und bogenförmig zum dorsalen Anfang der Raphe orientierten Fortsätzen der angrenzenden Gruppe von Ependymzellen zusammengesetzt ist. Für die seitlichen Abschnitte finde ich wiederum feinere Fortsätze, die entweder in Einzahl aus jeder Zelle hervorgehen, um sich dann öfters zu teilen, oder gleich zu mehreren entstehen, wie es für den Menschen bereits STUDNIČKA auf Tafel 32 und 33, Fig. 5—10 seiner Abhandlung (19) abgebildet hat.

Alle die peripheren Fortsätze derartiger Ependymzellen des Zentralkanals oder der Rautengrube sind weiter durch *feinere oder gröbere Seitenzweige verästelt*, welche innerhalb der Substantia neurogliae centralis ein zierliches und bald feiner oder gröber gewebtes Maschenwerk bilden. Besonders grob und deutlich maschig ist es unmittelbar unter dem Ependym des IV. Ventrikels zu beobachten, während es in der gleichen Substanz des Rückenmarks feiner zusammengesetzt ist. Sonst ist aber die *Maschengröße an denselben Stellen durchaus abhängig von der Art des Fixierungsmittels und der Einbettungsmethode;* sie fällt geringer aus bei der MÜLLERschen Lösung und nachfolgender Celloïdeinbettung, größer bei Paraffinschnitten derselben Fixierung. Bei Salpetersäurekonservierung ist

Digitized by Google

die Dicke der Balken gleichmäßiger, während sie bei Alkohol oder Pikrinschwefelsäure feiner und zarter resp. zerrissener erscheinen. Ich vermag deshalb ein wirkliches Kriterium über eine dem *natürlichen Zustand entsprechende Weite dieser Formation* nicht anzugeben. Über die Art dieser Maschung werde ich weiter unten erst einiges anzugeben haben.

Die *peripheren Fortsätze* der Ependymzellen sind nun zum Teil reich an inneren Fasern, welche dieselben aussteifen, wie es im Rückenmark der Fall ist; andere sind jedoch rein protoplasmatisch, wie die meisten in den seitlichen Abschnitten des Ependyms im IV. Ventrikel. Im Zentralkanalependym von Rind, Kalb, Hund und Mensch ist mehr im ganzen Umkreis eine ungleiche Ausbildung von solchen feineren Stützfasern vorhanden. Statt einzelner Fasern können auch *ganze Bündel von Fasern* gebildet sein, welche dann im *inneren Abschnitt des Zellleibs kelchartig den Kern der Zelle umgeben.* Bei den genannten Tieren sind solche *Bündel* jedoch im allgemeinen nur spärlich ausgeprägt und im wesentlichen auf jene *Rapheanteile der Ependymfortsätze* resp. auf *diejenigen der reinen dorsalen oder ventralen Radiärfortsätze des Rückenmarkependyms* beschränkt. Beim Menschen sind bald die dorsalen, bald die ventralen Bündel stärker ausgeprägt, was ich auch mitunter bei der Katze und bei dem Hund gesehen; am wenigsten habe ich sie bei Kalb und Rind ausgebildet gefunden.

Beim Kaninchen dagegen sind zum Unterschied hiervon allgemein die peripheren Fortsätze des Zentralkanalependyms reich an Bündeln von Fasern (Fig. 1), besonders sind die zur vorderen Spalte strebenden übermächtig entwickelt. Entsprechend stark ist natürlich dann der intrazelluläre Anfang dieser Bündel in Form eines *perinukleären Kelches* ausgeprägt (Fig. 2). Bis zur Kernzone lassen sich aber auch zum Teil die *Einzelfasern* vom Fortsatz her verfolgen, wobei sie mitunter *außerordentlich eng der Wand anliegen* oder auch als *Membranversteifungen* selbst erscheinen können. Stellenweise reichen sie aber auch nur bis zum Abgang des peripheren Fortsatzes, oder hören auch schon in einiger Entfernung vorher als deutlich gefärbte Fasern auf, sodaß, wie es mitunter z. B. bei den seitlichen Abschnitten des Ependyms am IV. Ventrikel zu sehen, das Anfangsstück des peripheren Fortsatzes faserfrei sein kann. Vielleicht ist hierbei ein Differenzierungsfehler der Methode beteiligt. Handelt es sich um eine geringere Anzahl

Digitized by Google

von 2—4 Einzelfasern, so finde ich dieselben ungleichmäßig im Zellumfang verteilt, sodaß sie also auch mitunter schon im Beginn ihrer deutlichen und dunklen Tingierung zu einem dünnen Bündel zusammenliegen. Im übrigen erscheinen auf meinen Präparaten die Anfänge aller dieser intrazellulären Fasern, die ich zweckmäßig als *ependymäre Gliafasern* bezeichnen will, als matter gefärbte Spitzen, die ich aber nie bis zur Höhe der Basalkörperchen habe verfolgen können. Nur im *Ependym von Petromyzon* habe ich fast durchweg die in den peripheren Fortsätzen vorhandenen *Einzelgliafasern in einen inneren Faserkegel verfolgen können*, welcher nach dem Modus der von APATHY bei der Flimmerzelle nachgewiesenenen intrazellulären *Faserstruktur* bis zur Basalkörpergruppe reicht. Von APATHY ist dieser Faserkegel der Flimmerzellen für eine der Nervenleitung dienende Zellstruktur erklärt worden. Bei Lumbricus terr. habe ich umfangreicher im Flimmerepithel derartige Fasern gefärbt erhalten; da ich bisher sie nie in „Neurofibrillen" habe sich fortsetzen gesehen, sondern immer am Boden der Flimmerzelle aufhörend gefunden, möchte ich sie nur für einen inneren Stützapparat der Flimmerzelle ansprechen. Ob er mit dem von APATHY beschriebenen System identisch ist, kann ich nicht angeben. Auf meinen Präparaten ist das untere Ende der Hauptfaser nicht zugespitzt, mitunter sogar ein wenig verbreitert. Auch erscheint am anderen Ende der Kegel feinerer Fibrillen nicht so gleichmäßig.

Die *ependymären Gliafasern* setzen sich nun im allgemeinen und in der Hauptsache zunächst in den *peripheren Ausläufern* der Ependymzellen fort; einzelne jedoch gelangen, was besonders bei den faserbündelhaltigen Exemplaren zu beobachten ist, in die *Seitenzweige* ein (Fig. 2), wobei sie auf Querschnitten durch Rückenmark und Hirnstamm sehr bald in eine *Längsrichtung* umbiegen, sodaß sie der Verfolgung ihrer weiteren Richtung sich entziehen. Zum Teil biegen aber auch die peripheren Hauptfortsätze aus einer anfänglich queren in eine Längsrichtung um, und mit ihnen natürlich auch ihre Gliafasern.

Auf diese Weise entsteht wenigstens zu einem großen Teil jenes *Lager von Gliafasern*, welches auf Rückenmarksquerschnitten dicht unterhalb der eigentlichen Ependymzellen in je einem halben Umkreis jene quergetroffene Faserzone bildet, welche bei Kaninchen nur schwach entwickelt, bei Hund, Kalb, Rind und Mensch da-

Digitized by Google

gegen zu einer stärkeren und charakteristischen Masse der Substantia Neurogliae centralis geworden ist. Ein Gleiches läßt sich für die ganzen seitlichen Bezirke des Ependyms der Rautengrube behaupten. Beim neugeborenen und einige Monate alten Kinde ist dieses Lager von Fasern nur schwach entwickelt, während es bei dem Rückenmark aus den zwanziger Jahren schon sehr erheblich geworden ist. Ich kann also hiermit die Weigertsche Behauptung, daß „bei älteren Individuen immer mehr und mehr vertikale Fasern auftreten", bestätigen. Daß zu dieser Fasermasse eine solche hinzukommt, welche von gewissen Gliazellen der nächsten Umgebung geliefert wird, soll weiter unten gezeigt werden.

Fig. 20a. Aus dem Rückenmarksquerschnitt eines wenige Wochen alten Hundes. Silbermethode nach Golgi. Zwei Gliazellen der weißen Substanz des Vorderstranges sind in netzförmigem Zusammenhang, der im Niveauunterschied von 60 μ erfolgt, imprägniert worden. Es soll diese Abbildung nachweisen, daß die Golgische Methode keineswegs immer frei verästelte Gliazellen wie auf den folgenden Figuren 20b und c (S. 293—294) demonstriert; woraus hervorgeht, daß sie für die Lehre vom Neurogliafils keine eindeutigen Resultate gibt.

Zwischen diese Fasermassen der Substantia Neurogliae centralis dringen nun jene peripheren Hauptfortsätze der Ependymzellen ein, indem sie sie entsprechend ihrer Zahl und Anordnung septieren, wobei ein Teil derselben in seinem weiteren Verlauf in die *äußeren Abschnitte* der *Substantia Neurogliae centralis* eindringt, welche bereits durch zahlreichere *Gliazellen* und ringförmig oder wellenartig angeordnete Gliafasern charakterisiert wird und außerdem schon durch die Nervenfaserzüge der Kommissuren beherrscht erscheint. Hierbei sind jedoch die meisten jener ependymären Gliafasern resp. Bündel von solchen auf Querschnitten schräg abgeschnitten, dementsprechend, daß ein rein querradiärer Verlauf jener Fortsätze der Ependymzellen nicht mehr im ausgewachsenen Nervensystem vorhanden ist. Infolgedessen gelingt es nicht mehr, wie es z. B. E. Müller bei Amphioxus oder Myxine gelungen ist darzustellen, den Verlauf der ependymären Gliafaserung bis zur Rückenmarksoberfläche oder bis zur ventralen Hirnstammfläche direkt nachzuweisen. Hinzukommt, daß im Rückenmark sehr bald die seitlichen Ependymzellenfortsätze sehr

fein werden, sodaß sie nicht mehr im Gewirr der übrigen Gliafasern verfolgt werden können. Ob außerdem, wie vielfach behauptet worden, auch infolge einer späteren *Reduktion* von ursprünglich durchreichenden Fortsätzen solches am ausgewachsenen Rückenmark unmöglich ist, kann ich nicht mit Sicherheit entscheiden. *Ein Teil endet* jedenfalls nicht an der Oberfläche, sondern an den *Gefäßbäumen in der nächsten oder weiteren Umgebung des Zentralkanals resp. der angrenzenden grauen Substanz* (Fig. 39a, b, c). Von einem *andern Teil* aber kann ich behaupten, daß er noch bis zur *Oberfläche* sich hin erstreckt. Es ist dies der aus starken Gliabündeln gebildete Zug, welcher zur vorderen Spalte des Rückenmarks geht und z. B. beim Kaninchen fast noch in rein querem Verlauf hingelangt, um an der in der Tiefe derselben befindlichen Membrana limitans gliae superficialis (siehe weiter unten) zu inserieren. Auch jener zweite Zug, der schon in mehr schräg abgeschnittenen Bündeln *die gleiche* Grenzhaut des Septum posterius erreicht, gehört noch einem durchreichenden Stützsystem an. Bei den übrigen von mir untersuchten Säugetieren ist der rein radiäre Verlauf viel weniger vorhanden; doch lassen sich solche Richtungen und solcher Endverlauf auch hier und auch beim Menschen aus jenen stärkeren Bündeln erschließen, welche wie beim Kaninchen als schräg abgeschnittene, in Wirklichkeit also in der vertikalen Richtung wellenförmig verlaufende Züge sich aus dem übrigen Gewirr der Gliafaserung der Substantia centralis deutlicher abheben. Auch für die Raphe des Hirnstammes möchte ich ein Gleiches behaupten, wobei ich mich auf den ähnlichen Verlauf und die besondere Stärke der entsprechenden Fortsätze der der Raphe unmittelbar angrenzenden Lager von höheren Ependymzellen stütze.

Was nun die Hauptfrage anbetrifft, die das Verhältnis derartiger *Gliafasern* zum Ependym entscheidet, so zeigen meine obigen Angaben einen *intrazellulären Anfang*, wodurch es auch gerechtfertigt erscheint, derartige Anteile der faserigen Neuroglia hier als *ependymäre Neurogliafasern* zu bezeichnen. Es stimmen also diese Eigentümlichkeiten des Ependyms der höheren Wirbeltiere und des Menschen im allgemeinen mit den von E. MÜLLER bei den niederen Vertebraten gefundenen Verhältnissen überein, was auch bereits von diesem Forscher (18. S. 50) kurz dahin mitgeteilt worden ist, daß sich „die Neuroglia in struktureller

Digitized by Google

Hinsicht bei diesen höheren Vertebraten (Rana, Bombinator, Lacerta, Kaninchen, Katze) ganz ebenso wie bei den niederen verhält". Im besonderen scheinen jedoch derartig volle und kelchartig den Kern der Ependymzelle umgreifende Anfänge von ependymären Gliafasern bei den niederen Vertebraten nicht vorzukommen, wenigstens nicht in der von E. Müller untersuchten Reihe (Amphioxus, Myxine, Acanthias vulg., Salus merlangus und Pleuronectes platessa). Größere oder völlige Übereinstimmung zeigen dagegen mehr jene Arten von Ependymzellen, deren periphere Protoplasmafortsätze nur wenige oder auch nur eine einzige Gliafaser führen. Der *weitere Verlauf* dieser intrazellulär beginnenden Einzelfasern oder Bündeln von solchen liegt auch noch zunächst im betreffenden protoplasmatischen Fortsatze selber drin, da sich längs jener intensiv schwarz gefärbten Fasern eine schmälere oder breitere und rot gefärbte Masse als direkte Fortsetzung des kernhaltigen Zellprotoplasmas hinzieht, welche ebenfalls wie jenes Protoplasmakörnchen enthalten kann. Auch weiterhin ist an vielen Stellen, z. B. bei jenen starken Faserbündeln, welche zur ventralen Spalte des Rückenmarks oder zum dorsalen Septum hinziehen, sowie an den von ihnen abgezweigten und bald quergetroffenen Seitenfasern eine ebenfalls rot gefärbte und stellenweise auch protoplasmatisch granulierte *Hülle* zu erkennen. Da sie bald stärker und deutlich, bald nur schwach und unscheinbar wie ein feines Häutchen ist, stellenweise aber auch überhaupt nicht zu sehen ist, so erscheint es zweifelhaft, ob diese *Hülle der Gliafasern kontinuierlich ist.* An den feineren Fortsätzen, die nur Einzelfasern enthalten, ist dagegen sehr bald, in geringer Entfernung von der Ependymzelle schon eine deutliche Hülle nicht mehr mit Sicherheit zu beobachten. Ob damit auch eine *intrazellulär beginnende und so sich auch zunächst fortsetzende Faser* weiterhin völlig frei und nackt wird, ist eine schwierige Frage. Da ich weiter unten in anderem Zusammenhange noch hierauf zurückkommen werde, so genügt es, hier soviel hervorzuheben, daß an den nackt und frei verlaufenden Gliafasern oder Bündeln von solchen dort mit einem Mal eine *Hülle oder ein Häutchen wieder sichtbar werden* kann, wo an der *Membrana limitans gliae superficialis oder perivascularis* das *Ende einer Gliafaser* gegeben ist.

Von den *ependymären Gliafasern* lassen die Weigertschen Abbildungen (Fig. 2, 3 Tafel III, Fig. 1 Tafel V, Fig. 2 Tafel VII

Digitized by Google

und Fig. 1 Tafel XI) nichts derartiges erkennen. Nur Fig. 3 Tafel XII zeigt eine Ausnahme. Im Text gibt WEIGERT allgemein zu dieser Frage an (6. S. 156), daß er gegen die Annahme KÖLLIKERS („daß an dem Fasergewirr der Substantia grisea centralis — auch Ependymfasern teilnehmen") a priori nicht das geringste einzuwenden habe. Seine Methode gestatte nur nicht, solche Beteiligung beim Menschen zu eruieren. WEIGERT meint dann weiter, daß, „wenn die Epithelzellen an der Faserbildung um den Zentralkanal einen Anteil haben, so erzeugen sie typische Neurogliafasern". Auch ich meine in Übereinstimmung hiermit, daß die von mir am menschlichen Ependym des Zentralkanals resp. der Rautengrube beobachteten Einzelfasern in den peripheren Fortsätzen jener Zellen typische Neurogliafasern sind und zwar *intrazellulär beginnende*. Und weiter halte ich von jener Fig. 3 Tafel XII (Sehhügeloberflächenepithel), daß sie, mit starker Vergrößerung und bei entsprechender Kontrastfärbung des Zellprotoplasmas gesehen, auch einen Zusammenhang der in der Tiefe des Sehhügels markierten, senkrecht verlaufenden Faserbündel mit jener ependymären Zelllage in meinem Sinne zeigen würde.

Für die Frage nach einer ependymären Gliafaserung kommt weiter in Betracht, daß die *Gliafasern selber nicht immer mit der Richtung der radiären Fortsätze übereinstimmen*. In den seitlichen Umfängen des Zentralkanals, in den gleichen Abschnitten der Seite der Rautengrube (Hund, Mensch) stehen die *Gliafasern annähernd senkrecht zu ihren Fortsätzen*, sodaß sie zum Unterschied von den längsfaserigen Raphebündeln der letzteren Gegend oder den mehr ventral resp. dorsal gerichteten Fortsätzen der Zentralkanalzellen als quere und in Anfangsstücken der *Fortsätze selber zum Teil drin gelegene Faserpunkte* erscheinen. Es ist klar, daß auf rein differenzierten Gliafaserpräparaten eine derartige intrazelluläre Beziehung dem Beobachter leicht entgehen wird. Umsomehr wird das unmittelbare, subependymäre Lager von Gliafasern vom Ependym selber völlig unabhängig erscheinen müssen. Es sind das Verhältnisse, die auch in der Beurteilung des elementaren Zusammenhanges der subependymären und diffusen Neurogliafaserung und ihrer Verbindung oder Nichtverbindung mit den eigentlichen Gliazellen von großer Bedeutung sein werden. Wenn deshalb auf den angegebenen WEIGERTschen Abbildungen der ersten Gruppe nur ein Gewirr von schräg oder quer unter der Ependymfläche hinweg

Digitized by Google

verlaufenden Gliafasern zu sehen ist, so vermag also eine derartige Anordnung der Faserverflechtung noch keineswegs jede obige Beziehung zu gewissen Ependymzellfortsätzen auszuschließen.

Auf Grund dieser Beobachtungen und ihrer Folgerungen unterscheide ich also als *erste Zone in der Substantia Neurogliae centralis* eine *ependymäre Neuroglia*, die somit von den Ependymzellen und ihren faserreichen oder faserärmeren Fortsätzen gebildet wird. Die *Ausdehnung dieser Zone* ist dem entsprechend natürlich *abhängig von der Länge der Ependymzellfortsätze*, was beim erwachsenen Nervensystem aus den oben angegebenen Verhältnissen schwierig oder gar unmöglich ist. Ich kann also nur von der Gegend der ventralen Rückenmarksspalte, dem dem hinteren Septum zugekehrten Teile, sowie von der Raphe des Hirnstammes behaupten, daß die *Substantia Neurogliae centralis mit ihrer ersten Zone, der ependymären Neuroglia, streifenförmig bis zur pialen Oberfläche des Zentralnervensystems hindurchreicht.* Wie weit die *vertikalen Fasern als Anteil dieser Zone* reichen, kann ich aus leicht erklärlichen Gründen nicht angeben.

Vervollständigt wird nun die *ependymäre Neuroglia* durch eine *Reihe von Zellen* und ihre Faseranteile, welche bereits in ihrer Form typische, strahlenförmige und *eigentliche Neurogliazellen* sind und hier nur eine *unmittelbare Schicht von subependymärer Neuroglia* ausprägen, welche in ihrer groben Anordnung gar nicht oder wenig durch die Einlagerung nervöser Elemente bestimmt ist. Auch nach innen kann stellenweise, sobald das Ependym jene obige nicht mehr streng geschlossene Reihe flächenhaft gefügter Epithelzellen zeigt, wie beim Zentralkanal des Kaninchens oder Hundes oder des erwachsenen Menschen, die Abgrenzung der subependymären Gliazellen schwieriger sein, weil dann im erwachsenen Nervensystem Bilder entstehen, die an die embryonale Auswanderung der Ependymzellen und ihrer Umwandlung zu Astrocyten erinnern, und gewissermaßen eine späte Entstehung der subependymären Neurogliazellen aus dem Ependym dokumentieren. Es sind das Formationen, die auf Fig. 2 zum Teil zu sehen sind und darin bestehen, daß geringere oder beträchtliche Tiefenverschiebungen einzelner Ependymzellen oder Gruppen von solchen erfolgt sind, die ihre länglich-cylindrische bis kubische Form verloren haben und mehr vieleckig geworden sind. Sie können hierbei mit der inneren Fläche des Höhlenepithels noch stielartig verbunden sein,

Digitized by Google

teils auch schon soweit herausgeschoben sein, daß sie nur noch eine geringe Verklebung oder Verbindung mit benachbarten Ependymzellen besitzen. Im ersteren Fall würde eine solche Zelle noch als verschobene Ependymzelle zu gelten haben, im letzteren Fall aber muß man sie bereits den Zellelementen der subependymären Neuroglia zurechnen. Für die Lehre von der Entstehung der eigentlichen und sternförmigen Gliazellen aus dem Ependym können also in dieser Hinsicht auch die späten postembryonalen Erscheinungen am Ependym verwertet werden. Hierher gehören endlich in letzter Linie die Wucherungsvorgänge an dem menschlichen Ependym, die am Zentralkanal des Rückenmarks häufiger eintritt und jetzt zu den regelmäßigen Altersveränderungen gerechnet wird. Sie führt in gewisser Weise zu der Bildung eines dichteren Kranzes faserreicher Gliazellen von eckiger Gestalt und in allen Stadien der Lösung aus dem ursprünglichen die Höhle rein begrenzenden Ependym. So finde ich z. B. an dem Lenden-Rückenmark eines Hingerichteten vom Anfang der zwanziger Jahre unter der eigentlichen aber noch geschlossenen Epithellinie der Seitenwand zahlreiche und faserreiche Gliazellen, während an der dorsalen und ventralen Kante des Längsspaltes schon eine beträchtliche und zur völligen Auflösung der eigentlichen Ependymzellenschicht vorgeschrittene Zellvermehrung eingetreten ist. Dadurch ist also an diesen beiden Stellen die ependymäre Neuroglia durch eine solche von subependymärem Charakter ersetzt, insofern sie von unregelmäßig vielseitigen und vielfach mit einander durch schräge und kürzere Anastomosen verbundenen Zellformen zusammengesetzt ist, welche zugleich eine Menge typischer Gliafasern ausgebildet haben.

Was die allgemeine *Form der subependymären Gliazellen* anbetrifft, sowie das *gröbere Verhältnis von Gliafasern zu ihr*, so finde ich im Rückenmarksquerschnitt des Menschen und jener Tiere teils solche, welche durch eine Anzahl von Gliafasern *radiär gefasert* sind, teils andere, bei denen in der Hauptsache die betreffenden Fasern *quer getroffen* sind oder auch ein *wenig schräg* zu der *angeschnittenen Zellebene stehen*. Letztere Elemente überwiegen vor allem im Boden der Rautengrube. Von den radiärfaserigen Gliazellen, die also in den Begriff der „Astrocyten" gehören, gelingt es, ihre Gliafasern weiter zu verfolgen. Sie sind es, welche teils denjenigen sich beigesellen, die im Rückenmarksquerschnitt der inneren Ependym-

Digitized by Google

oberfläche ein wenig parallel laufen, also ungefähr Bogenformen zu dem Zentralkanal resp. zu der Richtung des IV. Ventrikels beschreiben. Eine andere Gruppe schließt sich jenen Fasern oder Faserbündeln an, welche aus den Ependymzellen hervorgehen, um mit ihnen an der oberflächlichen Grenzhaut der vorderen Spalte usw. zu inserieren. Eine dritte Gruppe endet an den perivasculären Grenzhäuten der unmittelbar die zentrale gliöse Substanz durchsetzenden und weiterhin in der Substantia grisea centralis sich verzweigenden Blutgefäßen, wobei sie in rein radiärer Richtung und geradem Verlauf ein Blutgefäß erreicht und hier oft senkrecht zur Gefäßoberfläche endet oder auch seinen Längsverlauf weiter begleitet. Hauptsächlich aber bilden die Neurogliafasern dieser Gruppe mit jene vertikale Faserzone. Daß sie aus querlaufenden subependymären Gliafasern mit hervorgeht, läßt sich öfters beobachten. Immerhin aber ist dieser Zuwachs auf den einzelnen Querschnitten nicht sehr groß, so daß ich schließen muß, daß jene Längsfasern eine beträchtliche Länge haben, welche die meiner dünnen Rückenmarksquerscheiben überschreitet, so daß ich genauere Angaben über ihren derartigen Verlauf nicht machen kann. Was endlich das *Verhältnis* aller dieser *Gliafasern zu dem Protoplasma der subependymären Gliazellen* anlangt, so zeigen mir geeignete dünnere Paraffinschnitte, daß 1) jene *radiären Fasern im Protoplasma der betreffenden Astrocytenformen* liegen, wobei sie teils *unmittelbar neben der Oberfläche* (vielleicht in der Zellmembran selber) oder *dicht am Kern* das Protoplasma des Zellleibes durchsetzen, weiterhin aber auch *noch eine Strecke weit von einer feinen protoplasmatischen Hülle begleitet* sind, und daß 2) *ein großer Teil* jener *schief oder rein quer getroffenen Gliafasern in einem protoplasmatischen Netzwerk* zum Teil darin liegt, welches nach meiner Meinung aus der zahlreichen Verästelung aller jener Gliazellen wie der Seitenfortsätze der Ependymzellen entsteht und wie das Protoplasma jener Zellen selber eine wechselnde Menge von intensiv färbbaren Protoplasmakörnchen enthält. Immerhin aber erscheint auch an meinen Präparaten *ein Teil der Gliafasern ganz oder wenigstens eine Strecke weit* vollständig frei zu sein. Frei insoweit, als sie aus dem Bereich jener Netzbalken austreten können und dann frei in den Maschenräumen der Glia liegen. Daß sie nach weiterem Verlauf wieder in jene granulierte Masse zurücktreten können, habe ich aber auch anderwärts beobachten können, so

Digitized by Google

daß ich also für derartige Gliafasern nur eine partielle Emanzipation vom Gliazellenprotoplasma und seiner netzartigen Verzweigung zugeben kann. Was jene rein vertikalen Gliafasern anlangt, so finde ich sie beim Kaninchen zum größten Teil in der netzigen Gliasubstanz deutlich eingeschlossen (Fig. 2), ein kleinerer Teil scheint nur völlig frei zu liegen. Beim Menschen habe ich bisher keine umfangreichen Beobachtungen darüber machen können, inwieweit eine solche netzige Substanz der Neurogliazellen entwickelt ist, da ich aus Mangel an völlig frischem Material bisher nicht die zu diesem Nachweis nötige Art der Fixierung und Färbung für das Rückenmark habe anwenden können. Was ich am Lendenmark jenes Hingerichteten von 21 Jahren gesehen habe, ist, daß teilweise auch jenes die Gliafasern einschließende Netzwerk vorhanden ist. Ob es überall so wie beim Kaninchen und auch beim Hund, Kalb, Rind ausgeprägt ist, kann ich nicht angeben, da auf den mir vorliegenden Präparaten eine zu enge Zusammenpressung der einzelnen Fasern jener Schicht erfolgt ist. Dagegen kann ich mit Sicherheit behaupten, daß an vielen Gliafasern hier eine dünne, ein wenig mattgekörnte und stellenweise eckig geformte Substanz als Hülle für jene Faserelemente vorhanden ist.

b) Diffuse Neuroglia.

Beim erwachsenen Menschen, bei Kalb und Rind habe ich diese Elemente der diffusen Neuroglia hauptsächlich im Rückenmark untersucht; einige Betrachtungen habe ich auch an der weißen und grauen Substanz des Großhirns und Kleinhirns des Menschen angestellt. Bei Kaninchen und Hund habe ich außerdem ausgiebig den Hirnstamm beobachtet.

Abgesehen von der besonderen Anordnung der Neuroglia zu den nervösen Elementen der weißen und grauen Substanz ist ein elementarer Unterschied zwischen der subependymären und der diffusen Glia nicht vorhanden; auch eine wechselnde Menge von Gliafasern, ihre größere oder geringere Beziehung zum Protoplasma der Gliazellen und ein ungleicher Reichtum an protoplasmatischen Granulis können einen durchgreifenden Unterschied nicht bedingen, da dieses alles sowohl an den Elementen der diffusen wie der subependymären Glia selber an verschiedenen Stellen wechseln kann. Auch die von AGUERRE[26]) allgemein betonte außerordentlich

Digitized by Google

große Variation der Kernformen nach Größe (kleine, mittelgroße und große Kerne) und Krümmung ihrer allgemeinen Gestalt, oder nach Gehalt und Verteilung des Chromatins (gekörnte und homogene) ist keine, die für diese Zonen der Glia unterschiedlich wäre. Eine Sonderstellung muß ich vorläufig nur gewissen in unmittelbarer Nähe der Nervenzellen der grauen Substanz gelegenen Gliazellen geben, da sie, wie weiter unten noch besonders besprochen werden soll, *einseitige Beziehungen zu den perizellulären Stützneтzen der Nervenzellen*, ihren Golginetzen, erkennen lassen.

Im übrigen erscheint nun die äußere Gestalt und Verzweigung des Gliazellenprotoplasmas und zweitens die Gestalt *der deutlich in ihnen gelegenen Menge von Gliafasern* außerordentlich wechselnd. Folgende Einteilung wird hiervon ein Bild geben können. Ich unterscheide zunächst *protoplasmagroße* und *protoplasmakleine Formen*. Unter den letzteren sind die Extreme derartig, daß man die *protoplasmakleinsten* Neurogliazellen bei schneller Betrachtung und auf nicht sehr kräftig gefärbten Schnitten für protoplasmafreie Kerne halten könnte und versteht, weshalb früher in der Lehre von der Neuroglia so viel von den *„freien Kernen“* in der Grundsubstanz gesehen und gesprochen worden ist. Oft sind diese Kerne homogen, oft aber auch noch deutlich chromatinkörnig gebaut; es ist da schwer, ein abschließendes Urteil zu geben, weil erstens die Art der Fixierung (Müllersche Lösung gibt viel mehr homogene Kerne wie z. B. Zenkersche Lösung) und zweitens die Differenzierung und Art der Färbung große Fehlerquellen enthält. Die Kerne können ebenfalls sehr klein sein, oft aber eine etwas größere und deutlich bläschenförmige Gestalt besitzen. Immer aber ist die Protoplasmamenge wie eine dünne Schale nur angeordnet, die weiterhin in spärliche und sehr feine, mattgekörnte Ausläufer im Umkreis der ganzen Zelle sich fortsetzt (Fig. 8b). Irgend welche Schrumpfungen, die der Müllerschen Lösung eigen sind, und auch bei Formalinlösungen oder Alkohol von 96% mit nachfolgender Paraffineinbettung häufig entstehen, zerreißen leicht diese dünnen und feinen Fortsätze. Alle Übergänge gibt es von dieser protoplasmakleinsten oder kleinen Form der Gliazellen zu denjenigen, die durch eine große und sehr deutliche Menge von Protoplasma im Zellleib begrenzt sind (Fig. 6, Fig. 5b). Zwei Hauptarten können mit Leichtigkeit und Sicherheit unterschieden werden 1) *häutchenartige* (Fig. 4a, b) und 2) *protoplasmadichte* oder *proto-*

plasmakörnige Zellen (Fig. 5 u. 9). Zwischenstufen bestehen insofern, als das Protoplasma nur partiell körnig und dicht gebaut sein kann. Letztere Formen geben dann der ganzen Gestalt der Zelle eine leichte und deutliche Färbung. Die *häutchenartigen* Gliazellen sind durch das fast völlige Fehlen von körnigem Protoplasma zunächst charakterisiert, wenn auch mitunter einzelne Granula vorhanden sein können. Sonst aber scheint der Zellleib in der Hauptsache nur noch aus der vielleicht metamorphosierten oder verdickten Zellmembran allein zu bestehen, welche wie eine dünne Haut oder Hülle die betreffende Menge von mit der Zelle verbundener Gliafasern verbindet und zusammenhält (Fig. 4b). In anderen Fällen ist innerhalb dieser Haut noch eine eigentümliche spongioplasmatische Struktur vorhanden, welche in Form eines feineren oder gröberen Balkennetzes geordnet ist und einem durch umfangreichere und gröbere Vakuolisation entstandenen und veränderten Protoplasmarest entspricht. Derselbe ist zu den die Zelle durchsetzenden Gliafasern so angeordnet, daß er sie in seinen Wänden oder auch in seinen Balken während ihres Verlaufes durch den Zellleib führt und einkleidet. Bei bestimmter Differenzierung erscheint dann das innere Balkenwerk dunkelrot, während das allgemeine Häutchen mehr blaß gefärbt ist und die Gliafasern selber dunkelschwarz aussehen (Fig. 6 u. 7). Bei geringerer Entfärbung kann man das Netzwerk noch graudunkel darstellen, wodurch es dann weniger different von den Gliafasern selber erscheint, wie ich an einer derartigen Zelle vom Kaninchen abbilde (Fig. 4a).

Mag nun auch eine derartige Einteilung von Gliazellen in Rücksicht auf die protoplasmatische Beschaffenheit und die äußere Form des Zelleibes begründet sein, so sind doch alle darin einander ähnlich, daß sie die Art und der Anfang ihrer Verzweigung zu *protoplasmatischen Fortsätzen*, die dicker und feiner sein können, zu *sternförmigen* Gebilden macht. Im übrigen finde ich den Zellleib rund, wie bei den kleinsten Formen, sonst oval oder zu einem längeren und flachen Gebilde entwickelt, welches z. B. in der weißen Substanz den eingehüllten Nervenfasern entsprechend konkav geformt ist.

Berücksichtigt man nur die *Anordnung* der *Gliafasern zu diesen verzweigten Gliazellen* oder auch nur die alleinige Gruppierung ausschließlich gefärbter *Gliafasern zum Gliazellenkern*, so scheint, wie

Digitized by Google

Weigert gemeint hat, eine Astrocytenform nur noch für diejenigen Gliazellen zutreffend zu sein, bei der allein eine *radiäre Anordnung der Fasern zum Zellkern* vorherrscht. Hierbei ist vorausgesetzt resp. noch zu unterscheiden, daß eine derartige Figurierung der Fasern auch eine *allseitige* ist und also *in jeder Ansicht der Zelle* zur Anschauung kommt. Nun zeigen meine Abbildungen (Fig. 4—10 auf Tafel I), daß die *Anordnung der Gliafasern zu der jedesmal* (auf Querschnitten und Längsschnitten der weißen Rückenmarkssubstanz) *angeschnittenen verzweigten Zellfläche eine sehr wechselnde* ist. Im folgenden gehe ich hierauf näher ein, da sie durch die genauere Beurteilung der Gliafaserung in ihrer Richtung zur verästelten Zelle eine zweite Einteilung der Gliazellen ermöglicht, die dem für das ausgewachsene Zentralnervensystem so wichtigen Reichtum der Glia an besonderen Fasern gerecht wird. Was zunächst die *Lage der Gliafasern zum Protoplasma* der Gliazellen anbetrifft, die natürlich dort am schärfsten zu beurteilen ist, wo *reine Querschnitte der Gliafasern* vorliegen, so ergibt sich, daß 1) *freie Gliafasern* vorkommen, die den *Zellen oder ihren Fortsätzen nur anliegen* und sich mit ihnen kreuzen können. Ihre Menge ist insofern ungenau abzuschätzen, als der ganze Teil schief oder lang angeschnittener Fasern, die über die angeschnittene Fläche der Gliazelle hinweglaufen, unsichere Beobachtungen geben müssen. Immerhin gibt es eine Anzahl von Fasern, die wellenförmig verlaufend optische Querschnitte anzulegen gestatten und dann zeigen, daß sie nirgends auf dem betreffenden Schnitt, weder durch einen Zellleib, noch durch einen protoplasmatischen Gliazellenfortsatz hindurchgehen, also auch nicht von einem Protoplasma auch nur eine Strecke weit deutlich eingehüllt sind, sondern überall eine, wenn auch nur minimale Entfernung von demselben einhalten. Solcher Fasern finde ich eine ganze Anzahl. Berücksichtige ich zugleich, daß meine Schnitte 5—10 μ dick sind, und daß man überhaupt noch gar keine irgendwie genaue Vorstellung von der Länge einer Gliafaser hat, wohin man also eine Gliafaser, die man irgendwo auf einer Schnittstelle als völlig freie Faser findet, als Zellprodukt zu verlegen hat, so ist der Schluß auf eine *vollständig freie, zellunabhängige Faser* nicht sehr weitgehend. Dazu kommt noch folgende Beobachtung.

2) Finde ich solche Gliafasern, die nach *einigem Verlauf eine Strecke weit von einem Protoplasmafortsatz einer Gliazelle oder einer*

Digitized by Google

wie dieser auf meinen Präparaten rot gefärbten und etwas matt gekörnten oder häutchenartigen Masse gefaßt und eingeschlossen sind oder mit einander dort *verbunden* sind, wo sich *divergierende Gliafasern* eines geringeren oder stärkeren Gliafaserbündels von einander trennen (Fig. 2, 4b, 6, 7, 8a, 11, 12).

3) Endlich kann ich solche Beziehungen konstatieren, wo die Gliafasern deutlich *mitten im Zellleib* liegen, wobei sie als quergetroffene Fasern entweder *dicht der Kernmembran anstoßen* oder *unmittelbar in dem Protoplasma* der Gliazelle oder sogar in der Zellmembran selber drinstecken, welche bei gewissen häutchenartigen Gliazellen, die noch einen gekörnten Protoplasmarest fassen und zum Teil jenes oben beschriebene spongioplasmatische Fachwerk haben, als etwas dunkler gefärbte Randlinie sich abhebt. Im letzteren Fall würden derartige, also *unmittelbar in der Zelloberfläche laufende*, nicht ihr bloß außen anliegende Gliafasern, als *Membranversteifungen* aufzufassen sein.

4) Endlich finde ich an solchen Gliazellen, welche *außerordentlich grobe und konisch entspringende Fortsätze* haben und zugleich sehr dichtes Protoplasma im Leib wie Fortsatz besitzen, und zweitens durch abgehende *Bündel starker Gliafasern* gezeichnet sind, die weiterhin der allgemeinen Zelloberfläche folgend verlaufen, diese *Gliafaserbündel durch rot gefärbtes Protoplasma zusammengehalten und ihrer ganzen Länge nach* bis zu einem Gefäß z. B. oder bis zur Membr. lim. gliae superficialis bekleidet. Untersucht man Querschnitte dieser starken Fortsätze, so findet man die *Einzelfaser kreisartig* gestellt und der Mitte zu von rot gefärbtem Protoplasma vereinigt oder auch den ganzen Fortsatz von Fasern durchsetzt, in deren geringen Zwischenräumen die rote Farbe des Protoplasmas durchschimmert. Am Ende eines solchen Fortsatzes geht dann die Protoplasmamenge in den gleichsinnig gefärbten Gliafuß über, worauf ich noch näher bei der Besprechung der Eigentümlichkeiten der marginalen Glia zurückkomme.

Nach allen diesen Befunden kann ich also WEIGERT *nicht Recht geben, daß die Gliafasern vom Gliazellenprotoplasma völlig emanzipierte Gebilde* seien und einer *reinen Interzellularsubstanz gleich zu achten.* Und wenn ich auch hinzufüge, daß auf meinen Präparaten, die zum Unterschied von den nur rein fasergefärbten Gliapräparaten gleichzeitig die beiden zu bestimmenden Dinge verschieden gefärbt erkennen und demgemäß auch zu beurteilen

Digitized by Google

erlauben, ein Teil der Gliafasern an einer betreffenden Schnittstelle frei zwischen dem Gliazellenprotoplasma und seinen Fortsetzungen liegt, so folgt daraus noch keineswegs, daß nicht an *anderer Stelle für diese Gliafasern dieselben Beziehungen* bestehen, die an der ersten Gruppe von Gliafasern deutlich eine *intrazelluläre Lage* erkennen lassen. Weiter unten werde ich nochmals hierauf zurückkommen, wo ich über die Formation der Neuroglia und die Entwickelung der Glia einige Bemerkungen anzufügen habe.

Nach dieser allgemeinen Schilderung der Verhältnisse zwischen Gliafaserung und dem Protoplasma von Gliazellen habe ich auf eine zweite Einteilung letzterer einzugehen, die die wechselnde Faserhaltigkeit von Gliazellen auszudrücken ermöglicht. Ich unterscheide auf Grund der angegebenen Figuren 1) *faserreiche*, 2) *faserarme* und 3) *faserlose Gliazellen*.

Die letztere Gruppe besteht also aus Zellen, die von Golgi, Ranvier usw. als „protoplasmatische Neurogliazellen" angesprochen worden sind. Ob solche Zellen dazu gehören, welcher (Fig. 10) nur überkreuzte Gliafasern äußerlich angelagert sind, ist nach dem Obigen fraglich. In der marginalen Glia der Großhirnrinde habe ich häufiger derartige Elemente gefunden als in der weißen Substanz des Rückenmarks. Über ihre Anzahl vermag ich keine Angaben zu machen. Doch kann ich hierzu ebenso wie zu der zweiten Gruppe der faserarmen Gliazellen bemerken, daß insofern eine gewisse Fehlerquelle dieser Klassifizierung anhaftet, als sich schwer der Verästelungsbezirk solcher Gliazellen auf Schnitten feststellen läßt, wozu hinzukommt, daß nach meiner Meinung überhaupt eine regionäre Abgrenzung für den protoplasmatischen Verzweigungsbezirk einer Neurogliazelle gegenüber benachbarten Gliazellen sehr unscharf oder überhaupt nicht besteht, sodaß es oft unmöglich wird anzugeben, welchen Zellen einzelne Gliafasern angehören. Das geht unzweifelhaft aus den angegebenen Figuren von der weißen Rückenmarkssubstanz wie vom Ependym des Zentralkanals wie von der marginalen Neuroglia der Großhirnrinde hervor. Es berührt diese *eigentümliche Beziehung von Gliafasern zu mehreren Gliazellen* schon die Frage nach der Formation des Neurogliagewebes. Es muß deshalb genügen hier hervorzuheben, daß jene obige Einteilung nur mit Rücksicht auf die *unmittelbare Beziehung von Gliafasern* zu *dem Zellleib und den Anfangs-*

Digitized by Google

stücken der abgehenden Fortsätze gerechtfertigt ist, und daß zweitens der *auffallende* Unterschied zwischen faserreichen und faserarmen Gliazellen wohl durch Berücksichtigung weiterer Verästelungszonen und hinzukommender Faseranteile eingeschränkt aber nicht ganz wird beseitigt werden können. Für die Trennung der 2. und 3. Gruppe mag vielleicht eine vollkommenere Untersuchungsmethode späterhin nicht mehr ausreichende Momente finden. Da außerdem beim Menschen mit dem Alter die Produktion an Gliafasern wächst, so würde sich also streng genommen die Grenze zwischen faserlosen und faserarmen Gliazellen verschieben, ebenso wie diejenige zu den faserreichen sich ändern müßte. Faserarme Gliazellen zeigen Fig. 5d, 8, 8b, 9. Zu unterscheiden wären zwei Arten; solche, bei denen die Gliafasern quer die Fortsätze passieren und andere, denen sie in leichtem Bogen oder mehr längs folgen. Zu den faserarmen Gliazellen gehören in letzter Linie natürlich auch die meisten der Ependymzellen, sofern sie nicht wie jene oben besprochenen Gruppen einseitig orientierte Bündel von Gliafasern produzieren.

In den *faserreichen Gliazellen* unterscheide ich 3 Gruppen 1) *radiärgefaserte,* 2) *radiärgebündelte* und 3) *quer-* oder *längsgefaserte.*

Bei den *radiärgefaserten Gliazellen folgen* im allgemeinen die *Fasern den entsprechenden Fortsätzen des Protoplasmas*, sodaß sie wie diese natürlich auch eine zum *Kern ungefähr radiäre Anordnung* zeigen müssen, ebenso wie die faserhaltigen Ependymzellen entsprechend ihrem Hauptfortsatz nur einseitig orientierte Gliafasern oder Bündel von solchen haben können. Nur kommt bei den radiärgefaserten eigentlichen Gliazellen hinzu, daß die den Zellleib tief oder oberflächlich durchsetzenden, langentwickelten Fasern nicht immer in gleichem Niveau in einen zweiten Fortsatz übergehen, sondern erst nach mehr oder weniger starkem Bogenverlauf denselben erreichen. Dem entsprechend findet man auf gewissen Schnittfiguren der Gliazellen außer lang angeschnittenen, von Fortsatz zu Fortsatz ausgespannten und gerade oder mehr bogenförmig am Zellkern passierenden Gliafasern solche, die als kürzere Bogenstücke der Tiefe des Schnittes zu und von ihr weg arrangiert sind, sowie endlich auch solche, die nur als reine Querschnittspunkte erscheinen (Fig. 6, 4a, 7). Aus derartigen Figuren wird man den Schluß ziehen dürfen, daß die betreffende Gliazelle nicht nur in der angeschnittenen Fläche radiärgefasert

Digitized by Google

ist sondern es auch in Rücksicht auf die vollständige Zelle sein wird. Man muß demgemäß derartige Gliazellen als *allseitig radiärgefaserte* Formen bezeichnen. Von diesen zu unterscheiden sind solche, wo außer einigen lang getroffenen Fasern, die noch dazu an einem Zellrande vorwiegend verlaufen, nur noch rein quergetroffene oder rein schief angeschnittene Fasern zu sehen sind; woraus zu folgern ist, daß bei diesen die Radiärfaserung hauptsächlich nur in einer oder einer zweiten Ebene entwickelt ist. Den Einwand, daß letzterer Schluß nur eine Folge eines zu dünnen Schnittes ist, kann ich nicht gelten lassen, da bei Steigerung der Schnittdicke von 5 μ zu 10 μ keine Bogenstücke hinzukommen. Derartige Formen müssen also als *einseitig radiärgefaserte* Gliazellen unterschieden werden. (Fig. 6.)

Von den radiärgefaserten Gliazellen unterscheiden sich die *radiärgebündelten* dadurch, daß *statt der einzelnen Gliafasern Bündel* von solchen entwickelt sind (Fig. 7a). Die einzelnen Fasern der Bündel brauchen dabei nicht immer stärker wie jene in der ersteren Zellart zu sein. Zahlreicher habe ich die radiärgebündelten Gliazellen in dem Lendenmark eines 21 Jahre alten Hingerichteten beobachtet und zwar besonders in der Substantia Neurogliae centralis. Ihre Faserbündel gingen teils an Gefäße, teils in die quergetroffene Innenzone, teils zu den der Fissura interior zustrebenden Faserzügen. Bei demselben Hingerichteten sowie auch an dem Rückenmark eines etwas älteren Menschen, habe ich noch eine Formvariante gefunden, die eine Zwischenstufe zwischen den radiärgefaserten und radiärgebündelten Gliazellen darstellt und einen oder zwei faserbündelreiche Fortsätze besitzt. Bei den oberflächlichen Gliazellen der weißen Substanz waren sie vorwiegend der *Membrana limitans superficialis* zugekehrt, wo sie mit einem dickeren Gliafuß inserierten.

Die merkwürdigsten Formen der Beziehung zwischen Zellprotoplasma und Gliafasern geben endlich die *quergefaserten Gliazellen* (Fig. 8b, 5) deren radiär abgehende und bald dünn verzweigte Fortsätze *hauptsächlich* außer einigen schief angeschnittenen *rein quergetroffene Gliafasern* enthalten. Daß dieselben wirklich im Protoplasma drin stecken, läßt sich sicherer und leichter entscheiden, wie bei den lang oder schief verlaufenden; sie lassen sich ebenso genau unterscheiden von solchen, die ihnen nur angelagert sind.

Eine andere Frage ist natürlich, wie derartige Zellen in der entgegengesetzten Ansicht aussehen würden. Sie kann natürlicherweise und leider nicht genau entschieden werden. Einen *kleinen Teil* von ihnen halte ich in Folge der Vergleichung von Querschnitten und Längsschnitten, die ich aus der Region der Hinterstränge des Rückenmarks daraufhin untersucht habe, für Schnittbilder von radiärgefaserten Gliafasern. Ich schließe mich damit einer zuerst von GOLGI und dann auch WEIGERT ausgesprochenen Ansicht an, wonach auf Vertikalschnitten durch die weiße Rückenmarkssubstanz die Astrocytenbilder zahlreicher erscheinen. Von einem zweiten Teil dagegen meine ich, daß er nicht von solchen Gliazellen herkommt, sondern von mehr lang entwickelten und in der Richtung der Nervenfasern gestreckten flachen Zellformen, welche ihnen gebogen anliegen und hauptsächlich eine reiche Menge von längsverlaufenden, teils auch unter sich gekreuzt angeordneten Gliafasern produziert haben. Insofern sind also die *quergefaserten Gliazellen* in entgegengesetzter Ansicht *längsgefaserte*. Auch auf Querschnitten oder Schiefschnitten vom Rückenmark lassen sich solche Zellen z. B. an den vorderen Wurzeln beobachten, sofern dieselben während ihres Verlaufes durch die weiße Substanz mehr der Länge nach getroffen sind (Fig. 12). Sie sind oft mehrkernig, also Riesenzellen (Fig. 5d vom Kalb). Bemerkenswert erscheint, daß ihre Gliafasern teils gekreuzt arrangiert sind, was man auch auf Querschnitten beobachten kann und aus ihrer entgegengesetzten Bewegung abzuleiten hat, die bei wechselnder Tiefendurchmusterung des Schnittes erfolgt. Diese *verschränkte Anordnung der Gliafasern*, sowie die *Umbiegung von Gliafasern* radiärgefaserter Zellen in den Rückenmarkssträngen ist es, die auch auf Vertikalschnitten ein Verfolgen der Gliafasern unmöglich macht, sodaß es auch hier nicht entschieden werden kann, ob die auf einem Schnitt beziehungslos und frei von Gliazellenprotoplasma erscheinenden Fasern es auch wirklich sind oder nur abgeschnittene Fasern, die irgendwo anders aus dem Leib oder dem Fortsatze einer Gliazelle hervorkommen. Zweitens betone ich aus der Beobachtung von Längsschnitten der weißen Rückenmarkssubstanz sowie derjenigen des Kleinhirns und Großhirns, daß *stellenweise eine deutlich netzartig angeordnete Masse zwischen den verschieden laufenden Gliafasern ausgespannt ist und dieselben einhüllt*, welche *von dem Protoplasma der Gliazellen irgendwie gebildet oder*

Digitized by Google

geliefert wird, sodaß auch in Rücksicht auf diese Zwischenmasse eine *totale Emanzipation der Gliafasern von den Gliazellen von mir nicht zugegeben werden kann*. (Siehe hierzu den folgenden Abschnitt und die Figg. 12, 14, 15, 16, 17).

Auf Grund aller dieser Angaben über die *protoplasmatische Form und Verzweigung von Gliazellen* sowohl wie über *die intrazelluläre Einfügung einer großen Anzahl von Gliafasern* ist es verständlich, daß auf reinen Faserfärbungspräparaten die wirkliche Beziehung der Gliafasern zum Gliazellenprotoplasma verborgen bleiben muß. Es ist andererseits klar, daß gewisse allgemeine Verhältnisse der Gliafaserung, der radiären und der queren, jedoch noch als solche zum mitgefärbten Kern der Gliazelle heraustreten müssen, die auffallender bei der ersten Gruppe sein werden, während sie bei der zweiten Form, mag sie nun eine scheinbare oder eine wirklich quergefaserte Gliazelle repräsentieren, mehr verborgen bleiben, zumal wenn bei einem *größeren Protoplasmaleib die Fasern hauptsächlich in seiner oberflächlichen Schicht* liegen. Ich citiere hierzu die Angaben Weigerts, auf Grund deren er eine freie, zellunabhängige Gliafaserung behauptet (6, S. 95—97): „Sehr charakteristische Bilder entstehen nur dann, wenn, wie sehr häufig, die Fasern in ganzen Büscheln um den Kern gelagert sind, sodaß eine spinnen-, pinsel- oder sternförmige Figur entsteht, in deren Mitte der Kern mit seinem zu supponierenden, unsichtbaren Protoplasma liegt. *Übergänge in dies unsichtbare Protoplasma sind nicht zu bemerken*. Sie müßten sich in der Weise geltend machen, daß die Fasern allmählich in der Nähe des Kerns blasser würden und sich dann in dessen Umgebung verlören. Das ist aber niemals der Fall." Weigert führt dann hierzu aus, daß „in diesen Kernzentren mit den strahlenförmig an sie angelagerten Fasern" jene Deitersschen Spinnenzellen oder Neurogliazellen ohne weiteres zu erkennen sind, daß in andern Fällen aber, wo die Kerne schon in einem mehr oder minder großen „Gewirr von Fasern" liegen, solche Gruppierung entweder nicht besteht oder nur durch die betreffende Schnittrichtung verdeckt sein kann („verlarvte Astrocytenbilder"). „Endlich gelingt es auch diese „Astrocytenbilder" noch manchmal herauszubekommen, wenn man die Seiten der Neurogliazellen z. B. durch neutrales Carmin färbt — eine Doppelfärbung, die freilich für die feineren Fasern nicht günstig ist. Dieses Mittel hilft dann, wenn der Raum zwischen Kern und

Digitized by Google

Faser zu groß ist, um die Beziehung beider hervortreten zu lassen d. h. wenn der Zellleib, der ohne Doppelfärbung unsichtbar bleibt, zu umfangreich ist. Aber trotzdem kann man wohl sagen, daß sehr viele *Kerne* zwischen den Fasern (namentlich vielleicht sämtliche kleine, dunkelgefärbte) sich in keiner Weise als Zentren zu Strahlensystemen erkennen lassen." WEIGERT kommt dann schließlich zu folgendem Resultat: „Trotzdem so viele Kerne ohne charakteristische Beziehung zu den Fasern sind, trotzdem die weichen Fasern keine Beziehung zu den Kernen erkennen lassen, wird man doch nicht umhin können, *alle* die nach unserer Methode gefärbten *Fasern für identisch mit den Gebilden zu halten, die man seit FROMMANN für Ausläufer der Neurogliazellen hält.*

Vergleicht man diese Angaben WEIGERTS mit meinen Befunden so zeigt sich erstens, daß ich in dem, was ich oben über eine quergefaserte oder eine radiärgefaserte Gliazelle angegeben, mit WEIGERT übereinstimme, daß aber zweitens WEIGERT jene *tiefe oder oberflächliche intrazelluläre Lage der betreffenden Gliafasern bei seiner Doppelfärbungsmethode entgangen ist.*

Außerdem ist klar, wie im besonderen WEIGERT dazu gekommen ist, die *Neurogliafasern mit den früheren Ausläufern der Gliazellen zu identifizieren und zu gleicher Zeit behaupten zu können, daß diese keine Ausläufer der Gliazellen sind. Weil WEIGERT an jenen radiärgefaserten Gliazellen keine „Übergänge der Fasern" gefunden hat, sondern nur passierende, nie anfangende oder in der Kernzone aufhörende, deshalb sind zweitens die Neurogliafasern keine Zellfortsätze.* Man sieht, daß für WEIGERT die radiärgefaserten Gliazellen den Hauptausgangspunkt seiner Argumentation geliefert haben, die aber *einseitig ist, da WEIGERT gar nicht mit der Möglichkeit gerechnet hat, daß diese Fasern*, soweit sie nicht durch angelagerte von anderen Zellen her vermehrt sind, *intrazellulär liegen können*, daß sie also im Zellleib *oder auch in ihrem nächsten von der Zelle fortgehenden Verlauf von Protoplasma resp. einer Zellhaut bekleidet sein können*, wie meine obigen Beobachtungen zeigen. WEIGERTS Argumentation ist hierbei folgende: (S. 101) „Aber es wäre immerhin möglich, daß durch RANVIER und unsere Methode zwar abgesetzte Fäden statt der Ausläufer dargestellt werden, daß aber diese Darstellung auf irgend ein Kunstprodukt hinausliefe. Da die RANVIERsche Methode noch eine sehr unsichere war, die ihren Erfinder für das Großhirn, andere hervorragende Forscher, wie

Digitized by Google

Golgi, überhaupt im Stiche ließ, so lag diese Vermutung gewiß nahe, und man kann es den Untersuchern nicht übel nehmen, wenn sie trotz der Veröffentlichungen von Ranvier an ihren altgewohnten Auffassungen festhielten. Aber *unsere* Methode mag sonst gar manches zu wünschen übrig lassen, in der uns hier beschäftigenden Frage ist sie *ganz sicher*, und da müssen wir denn sagen, *nicht die Bilder von Ranvier*, sondern die nach *den alten Methoden erhaltenen Bilder waren Trugbilder*. Die nach den alten Methoden und nach der Golgischen erhaltenen Bilder bedeuten nämlich nur, daß bei diesen die Fasern und Zellleiber wegen ihrer gleichen Lichtbrechung (Ranvier) oder gleichen Färbbarkeit *nicht differenziert* werden, sodaß beide in chemischer (und morphologischer) Beziehung eins zu sein *scheinen*. Daß dies aber in der Tat nur Schein ist, das beweisen eben unsere Präparate, welche ganz sicher zeigen, daß Fasern und Zellleib im *chemischen Sinne von einander durchaus verschieden sind. Das ist aber der Kernpunkt der ganzen Frage.*"

Ich habe hierzu zu bemerken, daß mir das nicht richtig zu sein scheint, und zwar insofern, als in der Weigertschen Ansicht von der Neuroglia *zwei* Hauptpunkte den Kern seiner eigentümlichen Lehre bilden, *erstens, daß die Neurogliafasern chemisch verschieden vom Protoplasma der Gliazellen sind*, und zweitens, daß sie eine echte *Interzellularsubstanz* bilden. Das erstere bestreite ich Weigert keineswegs; es ist ihm auch nicht, wie die oben citierte Literatur gezeigt, irgendwie bisher bestritten worden. Diese besondere Beschaffenheit der Neurogliafasern bestätigt zu haben, und auch vor allem die wichtige, topographisch verschiedene Verteilung der Gliafasern zum ersten Male aufgedeckt zu haben, bleibt als großes Verdienst Weigerts bestehen.

Was aber den zweiten Hauptpunkt anlangt, so muß ich ihn als unrichtig bezeichnen. Weigert behauptet im Sinne der Definition von Max Schultze, daß bei den Neurogliafasern *außer jener Modifikation* ihrer Substanz auch eine *vollkommene Emanzipation vom Zellleib der Gliazellen vorhanden* sei. „Die Fasern stehen nur in Kontiguität mit dem Zellleib, sie sind mit ihm nicht als Ausläufer verbunden, sondern die zu- und abführenden Teile des Fadens, wenn man diese Ausdrücke brauchen darf, sind mit einander so innig vereinigt, daß sie etwas Zusammenhängendes, eine gemeinschaftliche *Fibrille* darstellen, die glatt über die anliegende

Digitized by Google

Zelle hinwegläuft. *Auf diese Weise tritt die Neuroglia endlich wieder durchaus in die Reihe der Bindesubstanzen*, aber wohlgemerkt nur vom *morphologischen Standpunkte aus.* (l. c. S. 116.)

Gegen diesen *zweiten Teil der* WEIGERTschen *Lehre* wende ich zuerst ein, daß er mit der von WEIGERT gegebenen *methodischen Unterlage überhaupt nicht begründet* worden ist. Daß die *Neurogliafasern den Gliazellen ausschließlich* auf- oder anliegen, oder über sie hinweglaufen, also die Zelle *nur berühren*, kann die WEIGERTsche Methode überhaupt nicht beweisen, da sie das Protoplasma ungefärbt läßt und also kein Urteil erlaubt, ob die Gliafaserung Interzellularsubstanz ist oder nicht. Zweitens halte ich dafür, daß jene Behauptung über die morphologische Natur der Neuroglia auch wirklich unrichtig ist, da meine obigen Angaben zeigen, daß die *Astrocyten radiärgefaserte Gliazellen* sind, deren eigene Gliafasern durch ein sie vereinigendes Protoplasma oder auch ein Zellhäutchen zellulär zusammengeschlossen sind, wovon sie nicht nur im Zellleib, sondern auch noch in ihrer Abgangsstelle oder noch weiter umhüllt sind. Wenn WEIGERT also gegen die Astrocytenlehre behauptet, daß ihre Bilder Trugbilder wären, da sie den Unterschied zwischen Gliafasern und Gliazellprotoplasma nicht gäben, sondern jene schlechthin als seine Ausläufer hinstellten, so würde dieser Vorwurf nach meiner Meinung jedenfalls dahin zu verändern sein, daß nur nicht die im Protoplasma des Zellleibs resp. dem der abgehenden Fortsätze die betreffenden Gliafasern als intrazelluläre Teile unterschieden worden wären. Womit ich also zugleich WEIGERT vorwerfen muß, daß er die Grenzen seiner Methode überschritten, als er die Gliafasern als reine nur noch den Zellen äußerlich angelagerte Interzellularsubstanz bezeichnete. Wenn ich hiermit wiederhole, was bereits früher LENHOSÉK (Feiner Bau des Nervensystems. 1895. S. 187) gegen die WEIGERTsche Methodik und Lehre hervorgehoben hat, daß sie „leicht zu der irrtümlichen Vorstellung führen kann, als wären die „Gliafasern" etwas Selbständiges, wie etwa die Fasern des fibrillären Bindegewebes, als wären dann die „Gliazellen" nur als sekundäre, davon unabhängige Gebilde in dieses Fasergewirre eingeschlossen", so geschieht es auch aus dem Grunde, weil WEIGERT diesen Tadel dadurch pariert hat, daß er ihn nur auf seinen methodischen Nachweis der chemischen Verschiedenheit von Zellprotoplasma und Faser bezieht. Daß mit dem letzteren aber

Digitized by Google

die Sachlage nicht entschieden ist, dürfte klar sein. Im übrigen unterscheiden sich in gewisser Weise die Beobachtungen Ranviers von denen Weigerts, soweit sie für die zweite Frage nach den *Zellbeziehungen der Gliafasern* in Betracht kommen. So gibt Ranvier an (5, S. 180): „Ses fibres ne paraissent plus être de simples prolongements des cellules, car on peut les suivre maintenant au sein des cellules elles-mêmes. Elles sont simplement noyées dans le protoplasma" — und weiter unten „Dans les préparations faites après l'action de liquide de Müller, on voit la masse de protoplasma envoyer sur les fibres, qui s'en dégagent des expansions qui, généralement, s'étendent entre elles comme une membrane interdigitale, d'autres fois les entourent d'une sorte de manchon." Ich habe an diesen Angaben Ranviers nichts auszusetzen, da ich dasselbe habe beobachten können. *Jedenfalls geht daraus hervor, daß die Gliafasern für gewisse Zellteile intrazellulär liegen und also hier auch keine Interzellularsubstanz bilden, wie Weigert behauptet.* Es ergibt sich aber auch andererseits der *allgemeine Schluß*, daß es sich überhaupt bei dem Streit um die Auffassung der Gliafaserung keineswegs um die Weigertsche Alternative — die Gliafasern liegen bei den Astrocyten dort, wo sonst die Ausläufer liegen sollen, sie sind aber keine Ausläufer, weil sie chemisch different sind — handelt, sondern um eine Frage, *die viel weiter gefaßt werden muß.*

Bekanntlich gibt es nach den Angaben von Ranvier und Andriezen z. B. in der Großhirnride rein protoplasmatische Gliazellen. Auch meine Beobachtungen zeigen auch sonst vielfach rein protoplasmatische Ausläufer von Gliazellen. Und da nun nach Ranvier die embryonalen Gliazellen überhaupt nur protoplasmatische Fortsätze haben, so wird solche Frage zu entscheiden haben, *wie viele von den ursprünglichen Protoplasmafortsätzen der Gliazellen faserhaltig werden oder nicht*, im besonderen wird hierbei zu untersuchen sein, wieso es kommt, daß die Gliafaserung so unregelmäßig erfolgt, daß sie einmal von Fortsatz zu Fortsatz in dem Zellleib einer Gliazelle ausgespannt ist, im anderen Fall von solcher Richtung erheblich abweicht. Als letzter Punkt bliebe aber dann immer noch zu wissen, ob die so aus dem Gliazellenprotoplasma herausziehenden besonderen Fasern auch in ihrem weiteren, langen Verlauf nackt werden oder nicht, und wie sie sich dann zu anderen Teilen der zentralen Substanz, den weiteren

Digitized by Google

Gliazellen oder auch den fremden Elementen der Blutgefäße verhalten.

Im folgenden Abschnitt schließe ich deshalb an diese allgemeinen Betrachtungen über das Verhältnis von Gliazellen und Gliafasern Beobachtungen an, welche einiges zur Entwicklung der Neurogliafaserung bringen und außerdem die feinere Bildung von Gliafüßen demonstrieren, um nochmals hieran die WEIGERTsche Lehre von einer faserigen gliösen Interzellularsubstanz zu kritisieren.

2. Die Entstehung der Neurogliafasern und die Enden derselben in den Fußstücken der Gliazellen.

Es ist klar, daß die Entstehungsgeschichte der faserigen Neuroglia nichts darüber an Beweis wird erbringen können, ob später im definitiven und funktionsreifen Gewebe die zu den anfänglichen Neurogliazellen hinzukommenden Neurogliafasern eine Interzellularsubstanz für sie bedeuten oder nicht. Immerhin wird aber eine Beobachtung ihrer Entwicklung zunächst die *Frage entscheiden müssen,* welche in den ersten Angaben von RANVIER bereits im Keime vorhanden ist, *was denn eigentlich aus den Fortsätzen der embryonalen Neurogliazellen wird, wenn es die Gliafasern später nicht mehr sein sollen und auch wegen ihrer „besonderen Beschaffenheit" in diesem engsten Sinne des Wortes wirklich nicht mehr sind.* Die Beobachtung von RANVIER ist folgende (de la Névroglie S. 182): Chez les embryons plus âgés (j'ai examiné des embryons de boeuf de 0,^{m}75 et de 0,^{m}95) un grand nombre de cellules de la nevroglie étaient étoilées et présentaient de longs prolongements; mais ces prolongements n'étaient pas encore des fibres véritables: ils avaient la constitution du protoplasma de la cellule et se fondaient avec lui."

Ich kann diese Angabe von RANVIER durchaus bestätigen nach dem, was ich an Embryonen von Maus, Meerschwein, Kaninchen, Katze, Hund und Mensch gesehen habe. Ich finde außerdem, daß auch auf etwas älteren Stadien, die bereits die erste Entwicklung von färberisch darstellbaren Gliafasern zeigen, die Zellen der embryonalen Neuroglia alle noch mehr oder weniger sternförmig sind und eine Anzahl von protoplasmatischen Fortsätzen besitzen. Der Reichtum an solchen Fortsätzen ist allerdings noch nicht derjenige wie später im erwachsenen Nervensystem.

Digitized by Google

In der zeitlichen Ausprägung sowie in der örtlichen Entstehung der faserigen Glia bestehen nun beträchtliche Unterschiede für Rückenmark, Kleinhirn und Großhirn, die im allgemeinen mit der sonstigen Reifung dieser verschiedenen Abschnitte des Zentralnervensystems zusammenfallen. Die faserige Glia entsteht zuerst im Rückenmark, und zwar zeigt hier durchweg die weiße Substanz ein Vorauseilen vor der grauen. Weitere und feinere Unterschiede, die noch die marginale Glia der Oberfläche betreffen, werde ich jedoch hier noch unberücksichtigt lassen, da ich die für die menschliche Neuroglia angefangenen und noch nicht abgeschlossenen Entwicklungsstadien später im Zusammenhang darzustellen beabsichtige. Ich werde also jetzt nur gewisse Hauptpunkte hervorheben, die auf jene obige Frage zurückgreifen und also für die zu behandelnde *allgemeine Frage nach der Entstehung der Gliafasern* überhaupt von Interesse sind.

In der Figur 28a, b, c habe ich die Verhältnisse dargestellt, welche z. B. für den Nervus opticus der Maus die Entstehung seiner Neuroglia zeigen. Von diesen drei Figuren demonstriert Fig. 28a (von einem Embryo von 1,2 cbm Länge) ein *rein zellige Glia*, die aus einer *Summe einfach verzweigter* und, wie hier sehr deutlich und sicher zu beobachten ist, auch *noch vielfach durch ihre Protoplasmaausläufer zusammenhängender Gliazellen* gebildet ist. *Im Innern* des nervus opticus anastomosieren diese protoplasmatischen Fortsätze nach Art eines *retikulären Gewebes*, in dessen Lücken die einzelnen Bündel des Sehnerven laufen; an seiner Oberfläche wiederum sind sie zu einer feinen Grenzhaut vereinigt, die noch alle bindegewebigen Elemente und insbesondere alle Blutgefäße von der eigenen Masse des Sehnerven und seiner zelligen Neuroglia fernhält. Durch *konisch verbreiterte protoplasmatische Füße* gehen die oberflächlichen Gliazellenfortsätze in die äußere, abschließende Grenzhaut über. Daß ich diese embryonalen Zellen des Sehnerven als Gliazellen bezeichnen kann, ist darin begründet, daß hier eine Verwechslung mit Nervenzellen ausgeschlossen ist, weil nach allen bisherigen Erfahrungen im Sehnerven Ganglienzellen nicht vorkommen, seine Masse also den *reinen Typus einer zentralen weißen Substanz* darstellt. Es kommt hinzu, daß, wie dieses Präparat weiter erkennen läßt, die *Entstehung der sternförmigen oder eigentlichen Gliazellen* aus der Masse der *His*schen *Spongioblasten* erfolgt, worauf ich in weiterem Kapitel unten noch

Digitized by Google

einzugehen habe. Der dritte Grund endlich, der allgemein mit der WEIGERTschen Erkenntnis von der sicheren Beurteilung der Glia aus ihrer Faserung gegeben worden, ist der, daß die *Bildung der Gliafasern innerhalb dieser Zellen* erfolgt.

Wie Fig. 28b von der neugeborenen Maus erkennen läßt, geht sie in der Weise vor sich, daß die *feinen protoplasmatischen Fortsätze* einer embryonalen Gliazelle zu einer anderen Zelle hin oder zu jener Grenzhaut durch eine *dünne intrazelluläre Faser angefüllt und versteift werden.* Also *innerhalb des Protoplasmas jener Zellfortsätze* entseht zunächst die *faserige Glia* als ein *besonderes fädiges Produkt des betreffenden Fortsatzes.* Die feine intraprotoplasmatische Gliafaser erscheint auf meinen Präparaten dunkelschwarz, mehr dunkelgrau das umgebende Protoplasma des Fortsatzes selber, während die Nervenbündel des N. opticus mehr hellgrau entfärbt sind. Mit diesem Stadium habe ich noch ein etwas früheres, den Nervus opticus eines *reifen Mäusefötus*, verglichen; er zeigt zum Unterschied nur *ganz vereinzelte Gliafasern* in jenen Zellfortsätzen, welche noch nicht den Zellleib durchsetzen. Auch ist hier die *Substanz des sich bildenden Gliafäserchens* noch nicht so fest und homogen, sondern noch etwas *körnig*, sodaß er wie ein matter Strich im Zellprotoplasma erscheint.

Ich füge hinzu, daß dieser Bildungsprozeß der faserigen Glia nicht nur für den Sehnerven gilt; ich habe ihn allgemein in gleicher Weise z. B. auch im Rückenmark gefunden. Im besonderen erscheinen hier *vielfach*, wenn auch nicht immer, als *erste faserhaltige Protoplasmafortsätze* der sternförmigen Gliazellen der weißen Substanz diejenigen, welche zur *oberflächlichen* oder *perivaskulären Grenzhaut* rein radiär ausgespannt sind.

Die *weitere Veränderung der zelligen Neuroglia* durch die in ihr auftretende Gliafaserung betrifft die *Menge ihrer Fortsätze* und dann das *Wachstum der Gliafasern.*

Fig. 28c zeigt an einem Sektor vom Optikus einer fünf Tage alten Maus, daß die *Gliazellen fortsatzreicher* geworden sind. Auch ist die *Richtung der neuen Fortsätze* nicht mehr rein quer, sondern allseitig, wodurch auf dieser Stufe das allgemeine Bild einer früher vorwiegend quer zur Faserrichtung ausgespannten und deshalb leichter auf Querschnitten darstellbaren Gesamtmasse von Gliazellen undeutlicher und komplizierter erscheint. Ich kann deshalb auf diesem Entwicklungsstadium nicht mehr entscheiden, ob die

Digitized by Google

späteren Protoplasmafortsätze mit anderen Gliazellen sich verbinden oder frei bleiben. Daß aber auch hier einzelne und sichere Anastomosen noch vorkommen, zeigt die Fig. 28b. Ob diese die alten und ursprünglichen, vielleicht nur etwas ausgezogenen und gedehnten Verbindungen sind, ist deshalb ebenfalls zu sagen unmöglich. Mit diesem Stadium habe ich dann noch den Optikus von der 18 Tage alten Maus verglichen; er zeigt noch eine beträchtliche Zunahme seiner Gliazellen an faserhaltigen Fortsätzen.

Was nun die Hauptfrage nach der *weiteren Entwicklung* der intrazellulären und zwar in den Fortsätzen enthaltenen Gliafasern anbetrifft, so zeigen mir meine Präparate, daß die *Gliafasern sowohl in den Zellleib* wie in jene *oberflächlich gelegenen Enden* gewisser Protoplasmafortsätze der Gliazellen vordringen. Durch ein *Längenwachstum der Gliafasern* erfolgt also eine ausgiebigere Aussteifung der embryonalen und protoplasmatisch weichen Gliazelle. Speziell folgen die wachsenden Gliafasern den *oberflächlichsten Zonen des Zellleibes*, was vielleicht zum Teil damit zusammenhängen kann, daß überhaupt um den Kern herum nur eine geringe Protoplasmamenge stellenweise vorhanden ist. Insofern nun in der weiteren Entwicklung *außer den anfänglichen und vereinzelten Fortsätzen auch die weiteren faserhaltig* werden und zugleich *im Zellleib durchquerende Fasern* beobachtet werden können, wird man schließen müssen, daß die in einem Fortsatz z. B. nach beiden Richtungen hin fortwachsende Faser bald den Zellleib erreicht und durchsetzt und schließlich auch in einen *zweiten Fortsatz hineinwächst*. Auf diese Weise entsteht also aus einer reifenden Gliazelle mit zunächst noch mehreren, rein protoplasmatischen Fortsätzen und einzelnen, bereits faserhaltigen das Bild einer *allseitig radiär gefaserten* und für die spätere Zeit des fertigen Zentralnervensystems *typischen Gliazelle*, deren *Fasern natürlicherweise, da sie den vorgezeichneten Bahnen radiär gestellter Protoplasmafortsätze folgen, in Bogenform den Kern passieren* und von ihm divergieren müssen. Zweitens folgt aus diesen Beobachtungen über Entstehung und Wachstum der Gliafasern, daß bei *diesen sternförmigen Gliazellen* späterhin von irgend einem *Anfang der Gliafasern in der Zelle* nicht mehr gut die Rede sein kann, da sie ja bald von einem Fortsatz zu einem anderen hindurchreichen und den Zellleib nur durchqueren. Eine Ausnahme machen hiervon nur die Ependymzellen, welche als *unipolare* und mit ihrem Fort-

Digitized by Google

satz auch *einseitig orientierte Gliazellen auch später im Zellleib das eine Ende ihrer Gliafasern*, was man für gewöhnlich als Anfang zu bezeichnen pflegt, erkennen lassen. Drittens geht aus dieser Entstehungsweise der faserigen Neuroglia hervor, daß die KÖLLIKER-sche Hypothese von einer oberflächlichen Zellplatte der Gliazellen und einer aus ihr erst sich sondernde Gliafaserung nicht richtig ist. Viertens endlich zeigt sich, daß eine *regionäre Abgrenzung* und eine *Beziehung von entstehenden und weiter wachsenden Gliafasern auf einzelne Gliazellen sich vielfach überhaupt nicht beschränken läßt.* Da jene Fasern in den *protoplasmatischen Anastomosen von Gliazellen* entstehen, wird schon von Anfang an eine *Unterscheidung unmöglich, welcher Zelle* sie zugeordnet werden soll. Aber auch in der folgenden Zeit des Wachstums der Gliafasern wird eine Verteilung einer gewissen Summe von ihnen auf einzelne Gliazellen als ihren Bildungszellen dadurch illusorisch, daß die schließlich lang gewordene Gliafaser bei ihrem Vordringen aus einem *ersten Zellleib auch einen zweiten*, wenn nicht noch weitere, erreicht.

Mit dieser *Bildungsgeschichte der faserigen Neuroglia* stimmen Beobachtungen überein, welche mir auch am *fertigen Nervensystem* zeigen, daß *Neurogliafasern mehr als einer Gliazelle gemeinsam* sein können. Im 6. Kapitel über die Formation des Neurogliagewebes werde ich näher hierauf eingehen.

Es bleibt eine Frage und zwar die, ob nicht irgendwie die wachsenden Gliafasern an irgend einer Stelle einfach den Zellleib und die Zellhaut hier durchstoßen und dann frei interzellulär vordringen, statt in die Bahn eines Protoplasmafortsatzes einzutreten. Gesehen habe ich bisher etwas derartiges nicht. Was *dagegen* spricht ist, daß auf diesen jüngeren Stufen der Faserreifung der Neuroglia die *einzelnen Neurogliafasern noch in ihrer ganzen Länge von einer dünnen und mattgekörnten Protoplasmahülle umgeben sind.* Dann vorzüglich ist dieses zu beurteilen und zu beobachten, wenn man *jene Fortsätze* verfolgt, welche als *oberflächliche* zur allgemeinen Grenzhaut hin ausgespannt sind und hier mit einem verbreiterten und konischem Ende, ihrem Fußstück, in sie übergehen. Zuerst erscheint dieses *Fußstück* nur als eine einfache und kegelförmige Ausbreitung eines vorher dünneren Protoplasmafortsatzes (Fig. 28 a); auf der weiteren Stufe der Gliafaserung (Fig. 28 b) erscheinen dann jene *Stiele der Fußstücke als faserhaltige* durch die in ihnen entstehenden und fort-

Digitized by Google

wachsenden Gliafasern, denen Enden als solche dann im Fuß selbst als freie erscheinen müssen, sofern man die protoplasmatische Masse des Fußes selber unberücksichtigt läßt oder auf radikal entfärbten Schnitten beobachtet, auf denen nur noch die Gliafasern als allein gefärbte Teile sichtbar zurückgeblieben sind. Dagegen halte ich es für vielleicht möglich, daß bei Dehnungen in Folge des allgemeinen Wachstums der nervösen Zwischenmasse jene anfänglich kontinuierliche Hülle der Gliafasern durchreißt oder sich wenigstens soweit zurückbildet, daß sie nicht mehr deutlich gesehen werden kann, weil ich an mehreren Stellen gesehen, daß an Zellleib und andererseits am Fußstück eine dickere Protoplasmamasse die betreffende Gliafaser umhüllte, in ihrem Zwischenstück aber anscheinend nicht mehr.

Im übrigen gehen die Fußstücke gewisser Fortsätze der Gliazellen noch weitere Veränderungen im späteren Lauf der Entwicklung ein. Ihre erwachsene Form, ihre Bedeutung für die morphologische Charakterisierung der marginalen Neuroglia und ihren Anteil an der Funktion dieser Grenzschicht des Zentralnervensystems wird das folgende Kapitel zeigen.

3. Marginale Neuroglia, ihre Grenzmembranen und ihre Entwicklung.

Eigentümlich für den *Begriff des Zentralnervensystems* ist, daß *seine Grenze* gegenüber den anderen Körperorganen *scharf* bestimmt werden kann, sowie man die *Ausbreitung und Entfaltung seines inneren Stützgewebes, der Neuroglia*, einer solchen Grenzbestimmung zu Grunde legt, daß dagegen solche Grenzen verloren gehen und z. B. in die Körpermuskulatur hineinreichen, sowie man die Endbezirke seiner ausführenden Nerven berücksichtigt, die doch nur die gewissen Ausläufer zentraler Nervenzellen sind. Daß die Neurogliazellen für das Zentralnervensystem der Wirbeltiere charakteristisch sind und normaler Weise an keiner anderen Stelle der Organismus ausgeprägt sind, ist allgemein bekannt und angenommen.

Daß nun das *zusammen mit den Nervenzellen im embryonalen Gehirnrohr entstehende Gewebe der späteren Glia auch noch im fertigen Organ streng auf den ursprünglichen Ort seiner Entstehung beschränkt bleibt*, wird allgemein aus der am *ectodermalen Epithel-*

Digitized by Google

gewebe bekannten *Eigenschaft* erklärt werden müssen, an ihrer *freien, d. h. dem mesodermalen Bindegewebe zuliegenden Oberfläche* eine *besondere Grenzfläche auszubilden,* die eine *fremde Gewebsart* scheidet.

Somit betrachte ich als *Keimlinge der Neuroglia* diejenigen *Zellelemente des embryonalen Gehirnrohres,* welche von Anfang an in *epithelartiger Stellung ausschließlich durchreichende Elemente* seiner Wand sind und es zum Unterschied von den *bald* sich lösenden und wandernden Neuroblasten auch noch für die *nächste Zeit der Entwicklung* bleiben.

Durch MAUTHNER (1861) ist das vom Zentralkanalepithel her durchreichende Stützsystem entdeckt worden, welches allerdings noch „in den Fasern der Pia mater" an der Rückenmarksoberfläche untergehen soll. Eine ectodermale Natur der Neuroglia hat dann zuerst HIS behauptet ([27]) S. 16): „Die Neuroglia selbst erscheint darnach auch in einem anderen Lichte; da sie nämlich mit der Pia und den von dieser austretenden Blutgefäßen *nirgends* zusammenhängt, so wird man genötigt sein, sie überhaupt vom Bindegewebe zu trennen, mit der sie ja auch histologisch nicht recht stimmen will, und man wird sie als ein Gewebe eigener Art anzusehen haben". Ebenso hat BOLL[28]) hervorgehoben, daß die Neuroglia mit den Nervenzellen an gleichem Orte entstände. Dann hat GOETTE[29]) ein das „ganze Rückenmark einhüllendes Häutchen" beschrieben, „welches keine Pia ist, „da die Gefäße erst außerhalb jenes Häutchens entstehen", sondern eine „Cuticula, die, sobald eine weiße Substanz angelegt worden ist, durch Schrumpfung jener Substanz abstehen kann. Sie bleibt aber durch feine Fäden, die mit breiterer Basis aus jener Fasernmasse hervorgehen, mit ihr verbunden. Später vermehren sich diese Verbindungen nicht nur, sondern gehen in membranartige Bildungen über, welche zwischen die Fasern der weißen Masse mehr oder weniger tief eindringen und so ein Fachwerk von zarten Scheidewänden bilden".

Im folgenden Jahr zeigte HENSEN[30]) beim Kaninchen, daß das Epithel des Zentralkanals als ein Radiärfasersystem von Fortsätzen durch die Masse des Markes hindurchreicht und mit fußförmig gestalteten Enden an einer „oberflächlichen Membrana prima" inseriere. Am menschlichen Embryo zeigte HIS[31]), daß sich ein System von radiären Fasern durch die gesamte Dicke

Digitized by Google

des Markes erstreckt", welches aus Verlängerungen von Zellen hervorgeht, die selber bis zur inneren Oberfläche des Medullarrohres reichen. Die äußeren Enden der Fasern „bilden eine selbstständige Belegschicht als erste Anlage weißer Rückenmarkssubstanz", sie verbreitern sich dann trompetenartig und liefern schließlich als „eine Art von Grenzschicht" die *Membrana limitans medullaris*. Dieselbe ist keine „ununterbrochene Haut" und zu unterscheiden von der *M. limitans meningea**), die als eine glatte Grenzschicht von den *netzförmigen Bindesubstanzzellen* geliefert wird, welche das Medullarrohr außen abgrenzen. Weiter[32]) hat His gezeigt, daß aus den Ausläufern jener Rückenmarkszellen ein Gerüst, das *Myelospongium* hervorgeht, „das späterhin zum Träger der Nervenfasern wird und das man als Neuroglia zu bezeichnen pflegt". Im übrigen meint His, daß zu diesem primären Teil der Neuroglia noch ein sekundärer hinzukomme, welcher aus den mit einwachsenden Gefäßen vordringenden Bindegewebszellen stamme und die Deitersschen Zellen der weißen Substanz bilde. In der folgenden Abhandlung[33]) hat His die gerüstbildenden Zellen des embryonalen Gehirns als *Spongioblasten* bezeichnet, die aber wahrscheinlich mit der Entstehung jener Deitersschen Stützzellen nichts zu tun hätten.

Vignal[34]) und Gierke[35]) waren inzwischen für eine rein ectodermale Natur der gesamten Neuroglia eingetreten. Einen *definitiven Beweis* aber hat erst Golgi[36]) an Hühnerembryonen erbracht. Seine Beschreibung ist folgende (S. 169 der deutschen Übersetzung „Untersuchungen über den feineren Bau des centralen und peripheren Nervensystems" Jena 1894): Die Cylinderzellen des Epithels des Zentralkanals „verlieren sich nicht in größerer oder geringerer Entfernung in der grauen Substanz, sondern durchziehen radial die ganze Schnittebene des Rückenmarks und erstrecken sich bis an den äußersten peripherischen Rand des Organs, bis zur Pia mater. Hier enden die fadenförmigen Ausläufer der Cylinderzellen, indem sie bald eine kegelförmige Anschwellung, bald eine

*) Es ist also ein Mißverständnis der Hisschen Nomenclatur, wenn v. Lenhossék folgendes behauptet (Feinerer Bau des Nervensystems, II. Auflage 1895 S. 204): „Diese Knötchen treten auf der freien Oberfläche des Markes mosaikartig zu einer offenbar lückenlosen, kompleten, äußerst feinen *Grenzmembran* zusammen, einer Art Cuticula (Membrana limitans meningea, His), die gegen die Pia mater hin das ectodermale Rückenmark vollkommen abschließt."

Digitized by Google

dünne Ausbreitung bilden, mit denen sie sich entweder an die Pia, oder an die dort verlaufenden Gefäße ansetzen. Auf diesem langen Wege bilden die mehr oder weniger kräftigen Fasern, welche die peripherischen Fortsätze des Körpers der einzelnen Epithelzellen darstellen, gewöhnlich Verzweigungen, welche bisweilen sparsam, bisweilen zahlreich und kompliziert sind. Die sekundären Verzweigungen ihrerseits gelangen zum Teil bis zur Peripherie des Rückenmarks und endigen hier auf die angegebene Weise; zum Teil verlieren sie sich auf dem Wege, ohne daß man das Wie? genau bestimmen könnte, zum Teil setzen sie sich an die Gefäßwände an." „Aus dieser Beobachtung geht offenbar hervor, daß der epitheliale Teil des Rückenmarks, welcher ohne Zweifel vom äußeren Keimblatte abstammt, an der Bildung des zwischen den nervösen Elementen liegenden Gewebes (der Neuroglia) unmittelbaren Anteil hat." GOLGI fügt hinzu, daß er sich aus einer „Reihe von embryologischen, chemischen und histologischen Beobachtungen" für berechtigt halte, dem Epithelium auch die eigentlich so genannten Zellen der Neuroglia gleichzustellen". NANSEN[37]) kam dann für Myxine ebenfalls zu dem Schluß, daß die Neurogliazellen aus dem Epithel des Zentralkanals sich entwickeln.

Die Form des Entwicklungsprozesses selber, die Auswanderung der Epithelzellen und ihre Formänderung zu Astrocyten hat dann zuerst R. y CAJAL[38]) demonstriert. Durch die Untersuchungen von v. KÖLLIKER[39]), van GEHUCHTEN[40]), von LENHOSSÉK[41]), RETZIUS[42]), Cl. SALA y PONS[43]) sind dann diese Beobachtungen CAJALS bestätigt und erweitert worden.

Gegen die Lehre von der einheitlichen ectodermalen Entstehung des Neurogliagewebes haben sich im Sinne der späteren Angaben von HIS die Untersuchungen von LACHI[44]), VALENTI[45]), CAPOBIANCO[46]), HATAI[47]) ausgesprochen, auf die ich hier nicht näher eingehen will. Ich selber meine, daß die *Neuroglia nirgends eine Beimischung von mesodermalen Elementen* erhält. Die Gründe hierfür werde ich in folgenden Beobachtungen ausführlicher erörtern.

Ich teile die Entstehung der Neuroglia und ihre Entwicklung zum fertigen Stützgewebe in 3 Perioden. Die erste Periode umfaßt die Bildung der *primären Glia;* sie ist dadurch charakterisiert, daß das *zentrale Stützgerüst ausschließlich* von den *Ausläufern* der Zentralkanalepithelzellen des embryonalen Gehirnrohres oder

Digitized by Google

der *embryonalen Ependymzellen* zusammengesetzt wird. Beim Amphioxus bleibt auch dauernd die Neuroglia auf dieser primären Stufe stehen. Bei den übrigen Wirbeltierklassen aber ist sie wie bekannt nur für die erste Zeit der Gehirnentwicklung typisch. Die zweite Periode führt zur *sekundären zelligen Glia*, die *außer* den reinen und später reduzierten *Ependymzellen noch jene umgewandelten Ependymzellen* und ihre *weiteren Vermehrungen*, die *Astrocyten* enthält. Die dritte Periode würde dann die *Entstehung der Gliafasern* umfassen, welche nach der oben skizzierten Weise in jenem Gewebe der sekundären, noch rein zelligen Glia vor sich geht und die Ausbildung einer *sekundären zellig-faserigen Neuroglia* bedeutet.

Ich komme jetzt auf die *Begrenzung des embryonalen Zentralnervensystems durch die primäre Glia* zurück. Nach His bilden die *Spongioblasten* als durchreichende Elemente der embryonalen Gehirnwand mit ihrer *inneren Oberfläche* die *Membrana limitans interna*. Sie begrenzt den Zentralkanal des Rückenmarks resp. die Gehirnventrikel und zeigt eine Felderung, die auch sonst für eine durch Kittlinien vereinigte Masse von Epithelzellen an der Oberfläche charakteristisch ist und als solche auch für das fertige Ependym des reifen Zentralnervensystems gilt. Der epithelartige Charakter dieser inwendigen Grenzhaut kommt auch weiter auf meinen Präparaten dadurch zum Ausdruck, daß in den einzelnen Feldern und zwar dicht unter der feinen, kutikularen Endfläche je ein Doppelkorn vorkommt, welches auch sonst für das innere Ende von Cylinderepithelien als ihr Zentralkörper gilt. Derartige Präparate besitze ich vom Meerschweinembryo (2,3 cm), Kaninchenembryo (3,7 cm) und einem gleich weit entwickelten Embryo vom Hund. (Bei beiden letzteren zeigt der Plexus chorioïdeus bereits durchweg Basalkörper mit Flimmerhaaren.)

An der *äußeren Oberfläche* entsteht nun nach His aus den entsprechenden Teilen der Spongioblasten ein grobgerüstiges Balkenwerk (Myelospongium), welches dann als *ein Randschleier* die periphere Zone des Gehirnrohres bildet. „Die Hauptbestandteile des Randschleiers sind zahlreiche blattartig geformte Radiärbälkchen, die an ihrem äußeren Ende verbreitert zu sein pflegen, und die untereinander durch kurze Quersprossen zusammenhängen. Je jünger die Entwicklungsstufe, um so schmaler ist der Randschleier, und um so dichter sein Gefüge. In vorgerückteren Perioden lockert

sich das Maschenwerk; aber auch in einer Zeit, da schon reiche Mengen von nervösen Längsbahnen vorhanden sind, ist die primäre Anordnung des Markgerüstes in der radiären Gliederung der weißen Substanz immer noch zu erkennen" (Abhandlung über die Neuroblasten S. 239). *Ob die einzelnen Lücken des Randschleiers selber offen oder nach außen geschlossen sind,* hat His unentschieden gelassen. In seiner Arbeit von 1883 sagt His hierüber, daß der Name *M. limitans medullaris*, die also die *äußere Grenzhaut des Randschleiers* bilden würde, nicht den Begriff einer „ununterbrochenen Haut" enthalte.

Ich finde nun, daß der Hisssche Randschleier durch eine *feine, späterhin sich noch verdickende Membran kontinuierlich bedeckt* ist, welche als *dauernder Rest einer von vornherein nach außen abgeschlossenen* Epithelfläche persistiert und durch *Vermehrung* der von *innen her* zu ihrer Masse zusammenkommenden Elemente, *Spongioblasten* und *spätere Gliazellen*, der ganzen Organvergrößerung entsprechend wächst und sich ausdehnt. Ich will sie als *Membr. limitans medullaris superficialis* bezeichnen.

Bei *Flachschnitten* zeigt sie eine *Gliederung*, welche den durch His bekannt gewordenen Feldern der M. lim. interna durchaus entspricht. *Senkrechte Durchschnitte* lassen erkennen, daß zahlreiche und im allgemeinen konisch geformte *Füße jener Spongioblasten* in ihr zusammenkommen (Fig. 21 vom Rückenmark des Embryo EB der Hisschen Sammlung). Der Randschleier zeigt auf dieser Stufe noch seine ersten Stadien der Ausbildung; beim Embryo Br 3, dessen Untersuchung ich ebenfalls der Freundlichkeit des Herrn Geheimrat His verdanke, ist der Randschleier bereits breiter entfaltet; seine Räume sind auch hier durch eine Grenzhaut eingefaßt, welche dicker wie beim Embryo EB. geworden ist. Ihre Entstehung aus den fußartigen Endstücken der Spongioblaste tritt auch hier klar hervor (Fig. 22). Hinzufügen muß ich, daß allgemein und, wie auch bei Br 3 zu beobachten, unter dem Einfluß der Fixierung und Einbettung ein Zerreißen der oberflächlichen und also jene Fußteile der Spongioblasten enthaltenden Schicht des Randschleiers stellenweise eintreten kann, wodurch die genetische Zusammengehörigkeit jener Grenzhaut mit dem Hisschen Randschleier unklarer werden kann. Nennt man nach His das an der Oberfläche des embryonalen Gehirnrohres sich zusammendrängende mesodermale Gewebe die *M. limitans meningea,*

Digitized by Google

so würde also erst die *M. limitans medullaris superficialis* die genaue Scheidewand des ectodermalen Gehirnrohres darstellen. *Überall* ist nach meinen Beobachtungen jene *Membrana limitans superficialis* ausgeprägt; sie bedeutet somit auch eine *vollständige Scheidewand für das die Gefäße vorbereitende Mesoderm.* Denn man findet anfangs noch *alle Gefäßsprossen* ausschließlich in jener *Schicht der M. limitans meningea zusammengedrängt* und eine Zeit hindurch auch *vollständig von den oberflächlichen Zonen des Randschleiers* durch die *M. limitans superficialis zurückgehalten und abgedrängt* (Fig. 22).

Diesem *ersten Stadium einer oberflächlichen Anhäufung neugebildeter Blutgefäße* folgt dann das *Stadium* ihres *Eindringens* in das embryonale Gehirnrohr. Es geschieht in der Weise (Fig. 23 bis 25), daß eine *keilförmig* gestaltete *junge Gefäßsprosse* jene *M. limitans superficialis spaltet,* in der sie, wie Fig. 23 offenbar zeigt, längs eines Kittstreifens zwischen zwei benachbarten Spongioblastenfeldern eindringt und die entsprechend tieferen Anteile des noch in einzelne Epithelzellbezirke gegliederten Randschleiers auseinanderlegt.

Die weiteren Stadien des Eindringens geben Fig. 24 und 25 von derselben Stelle eines Kaninchenembryo wieder, die vor allem zeigen, daß es sich auch bei dem *weiteren Einwachsen der ersten Gefäße ins Gehirn* zugleich um eine *entsprechend vorschreitende Neubildung einer M. limitans aus den tieferen Abschnitten des Randschleiers* handelt, die in *gleicher Weise* wie jene M. lim. an der äußeren Oberfläche hier *innerhalb des Zentralnervensystems selber das eindringende gefäßhaltige Bindegewebe von vorne herein von der eigenen epithelialen Masse des Gehirns abgrenzt und abschließt.* Ich will diese im Innern des Gehirnrohres aus Seitenzweigen der Spongioblasten entstehende Grenzhaut als *M. limitans perivascularis* bezeichnen. Sie umgibt also als eine *röhrenartige Scheide das einzelne Gefäß* und hängt naturgemäß an jener oberflächlichen Einbruchspforte mit der oberflächlichen und allgemeinen Grenzhaut des Gehirns, der M. limitans superficialis kontinuierlich zusammen. Nicht nur für den Embryo des Menschen und des Kaninchens gelten diese Angaben; umfangreicher habe ich auch an Embryonen von Ringelnatter, Frosch, Salamander, Forelle, Zitterrochen, Huhn, Meerschwein, Maus, Katze, Hund die Ausbildung jener oberflächlichen und inwendigen Grenzhaut des Zentralnervensystems beobachten können. Daß ich dieses vergleichende Material in relativ kurzer

Digitized by Google

Zeit habe untersuchen können, verdanke ich Herrn Geheimrat His und Herrn Professor KÄSTNER, die mir freundlichst ihre Sammlungen zur Verfügung gestellt haben.

Die *Grenzhäute des erwachsenen Zentralnervensystems* sind dieselben wie beim Embryo; sie liegen zu *einem Teil unmittelbar unter der Pia mater* und entsprechen jener *M. limitans superficialis* als dem ersten Abschluß des noch nicht von Gefäßen durchsetzten Gehirnrohres, zum *anderen Teil umhüllen* sie die *bindegewebigen und gefäßhaltigen Einsenkungen oder Septen der Pia* als *perivaskuläre Membranen.*

Für das *fertige Nervensystem* will ich nun die Bezeichnungen von *Grenzhäuten der Neuroglia* gebrauchen, da auch nach meinen Beobachtungen, welche durchaus die zuerst von GOLGI angedeuteten und später von RAMON Y CÁJAL an Silberpräparaten demonstrierten Tatsachen bestätigen können, daß die Glia *rein epithelialer Herkunft* ist. Daß die *Entstehung der sekundären zelligen Glia* wirklich auf der Auswanderung und weiteren Formänderung von ursprünglich rein im Ependym gelegenen Zellen beruht, kann ich auch mit einer anderen Methode der Schnittfärbung als der GOLGIschen Silbermethode am Nervus opticus demonstrieren und damit die Resultate eines heute vielfach angegriffenen Imprägnationsverfahrens unterstützen und sichern.

Die Fig. 28a zeigt am n. opticus eines zwölf Tage alten Mäuseembryo die *Entstehung einer sekundären zelligen Glia aus dem Ependym,* welches noch am unteren Rand in seiner *primären Form* den Rest des hohlen Augenblasenstieles bildet, während der übrige Umfang des Sehnerven bereits *zahlreiche Nervenbündel von einer zusammenhängenden Masse sternförmig verzweigter Zellen* umgeben und begrenzt zeigt. Diese *innere Menge von Stützzellen* bildet mit jenem Nervenbündel zusammen eine *weiße Substanz,* welche für diesen Teil des Zentralnervensystems bekanntlich von Anfang an und auch dauernd diesen *reinen Charakter* behält und somit auch klar die Bildungsgeschichte der zelligen Neuroglia beweisen muß, insofern zum Unterschied von anderen Abschnitten des embryonalen Gehirnrohres keine Beimischung von Nervenzellen die Deutung der Zellverschiebungen erschweren kann.

Daß diese Summe von inneren Astrocyten ependymärer Natur ist, zeigt ohne weiteres die angegebene Figur; daß sie weiter auch *aus sich selber herauswächst und sich vermehrt,* zeigen vereinzelte,

Digitized by Google

überall vorhandene *Mitosen*; daß endlich auch *keine Mesodermzellen beigemischt sein können*, geht aus der *geschlossenen Grenzmembran* hervor, welche die *Oberfläche des Sehnerven einfaßt und scheidet.* Erst nach dem Wurf erfolgt das Eindringen von Gefäßen in dieses bis dahin völlig abgeschlossene und rein gebliebene epitheliale Gewebe und damit die innere Ausbildung von perivaskulären Grenzhäuten, zu einer Zeit also, wo bereits die Produktion von Gliafasern begonnen hat. Auch die ersten Stadien der beginnenden Randschleierbildung zeigt die Fig. 28a; sie kommt an den zum unteren Rand reichenden Ependymzellen zum Ausdruck, welche eine oberflächliche *Lakunenbildung* erkennen läßt, wie sie His als *vorbereitendes Stadium zur Formation des Randschleiers* erkannt hat. (W. His, Histogenese und Zusammenhang der Nervenelemente. Referat in d. anat. Sektion des internationalen med. Kongr. zu Berlin. 7. Aug. 1890).

Ihrer Entwickelung entsprechend sind also die *Grenzhäute des erwachsenen Zentralnervensystems solche der Neuroglia;* ich unterscheide sie als *Membrana neurogliae superficialis* und *perivascularis.* Beobachtet habe ich sie an solchen Präparaten, die *sowohl die Neurogliafasern als auch das Protoplasma der Gliazellen und die Masse der Membran selber gleichzeitig gefärbt* erkennen lassen. Bei der Beschreibung stütze ich mich also ausschließlich auf solche Präparate.

Ich schicke voraus, daß bei der Weigertschen Neurogliafärbung auch diese Beziehungen der Glia zur M. limitans Gliae verborgen bleiben. Diese nur für die Erkennung der normalen oder pathologischen Menge und Anordnung der Neurogliafasern so bedeutungsvolle und wichtige Methode bedingt eine so radikale Entfärbung aller der anderen Gewebsteile der Glia, daß es, wie aus dem folgenden klar werden wird, nicht verwunderlich ist, wenn die Weigertsche Lehre von der Neuroglia so einseitig geworden ist. Daß sie andererseits in der Unterscheidung von Gliazellenfortsätzen und Gliafasern als etwas Besonderem aufklärend gewirkt hat, verkenne ich hierbei keineswegs.

In Übereinstimmung mit der im 2. Kapitel nachgewiesenen intrazellulären Entstehung von Gliafasern sind es also im erwachsenen Zentralnervensystem zum großen Teil nicht mehr allein einfache und locker gebaute Fortsätze von Astrocyten, sondern *Gliafasern*, welche in einer gleich näher zu beschreibenden Weise

Digitized by Google

an jene *Grenzfläche* herantreten und in sie übergehen, welche noch an jene *Fußbildungen* erinnert, die für die *primäre oder auch sekundäre zellige Glia* gilt. Daß *daneben* auch *rein protoplasmatische Gliafüße* vorkommen, zeigen auch meine Präparate. Die Kapillaren der großen Rindensubstanz im Kleinhirn und Großhirn zeigen hauptsächlich einen solchen Aufbau ihrer perivasculären Grenzhaut. Auch an der M. lim. Gliae superficialis der Großhirnrinde finden sich vielfach derartige Verhältnisse, die aber schon häufiger mit faserhaltigen Füßen gemischt sind, sodaß also hier jene Verhältnisse wiederkehren, die ich oben einer Einteilung der Gliazellen in faserfreie und faserhaltige zu Grunde gelegt. In der weißen Substanz, in der oberflächlichen Gliahaut des Kleinhirns, in der entsprechenden Grenzmembran des Rückenmarks dagegen, sowie in der Substantia Neurogliae centralis sind durchweg und hauptsächlich derartige Beziehungen der Gliazellen durch Gliafasern vermittelt. Zwei Typen unterscheide ich hauptsächlich in der Bildung derartiger Gliafüße, wobei ich von der Variation absehe, daß eine Einzelfaser oder zwei und mehrere zu einem Bündel vereinigte zu den Füßen herangehen.

Die *eine Hauptform* besteht darin, daß die *Gliafaser* selber oder das betreffende Bündel (Fig. 39b, c) von ihnen als dunkel gefärbte Teile aufhören und in *blasser, häufig noch feiner zerfaserter Substanz in den Fuß selber* übergehen. Ob es sich hier um eine Substanzänderung oder nur eine Substanzlockerung handelt, die jene Färbungsunterschiede hervorruft, mag unentschieden bleiben. Fein und regelmäßig aufgefaserte Füße sind z. B. die Enden der BERGMANNschen Fasern im Kleinhirn (Fig. 33a, b).

Die *zweite Hauptform* zeigt eine Gliafaser oder einzelner bei einem Bündel, welche als solche *durch den Fuß selber hindurchziehen* und in der betreffenden Grenzhaut flach weiterlaufen. Meistens können sie weil abgeschnitten nicht weiter in ihrem Verlauf verfolgt werden; mitunter aber habe ich doch beobachtet, wie sie nach kürzerer Strecke blaß in derselben aufhören. Es entsprechen also diese Angaben denjenigen von RETZIUS, wonach hakenförmige Umbiegungen der Gliafasern an der Intima Piae vorkommen.

Dieser zweite Typus der Gliafüße interessiert noch insofern als er einen Beweis dafür enthält, daß bei der *Bildung der Gliafüße noch etwas anderes und Besonderes* in Betracht kommen und auch beim ersten Typus versteckt vorhanden sein muß, bei dem

Digitized by Google

der betreffende Fuß mehr als die direkte Ausbreitung einer substanzveränderten oder substanzgelockerten Gliafaser erscheinen kann. Dieses Besondere erscheint von vorneherein nur da, wo es sich deutlich von der dunkel gefärbten Faser abhebt und die es einhüllt, als eine feine, mitunter etwas gefältelte Haut, welche der Grenzmembran zu immer mehr kegelförmig oder auch pyramidenförmig um die in ihr laufende Faser ausgespannt ist und schließlich mit breiter Basis in jener Gliamembran selber aufhört. In Rücksicht auf jene embryonalen Fußformen ist dieses Häutchen zum mindesten also der einer *Zellmembran* gleichwertige und oberflächliche Teil einer Gliazelle. Was auch dadurch kenntlich wird, daß oft außer jener Faser *protoplasmatische Granula in ihr eingefügt* sein können, wie mir besondere Präparate zeigen. Woraus ich weiter folgere, daß dieses Häutchen des Gliafußes nicht ein einfacher protoplasmatischer Rest oder eine umgeformte, veränderte Substanz ist, die als Produkt der Gliazelle der Gliafaser etwa gleich zu achten sei.

Ich füge hinzu, daß bei dem Typus einer endständig aufgefaserten Gliafaser die einzelnen divergierenden Strahlen sich innerhalb jenes Häutchens als ein dasselbe ausstützendes System feiner Fäserchen bis zur Grenzhaut als ihrer Insertionsstelle verfolgen lassen (Fig. 33a, b).

Daß die *Grenzhaut der Glia* resp. der *Anteil eines jeden sie zusammensetzenden Gliafußes* in den Begriff einer *Zellmembran* zu bringen ist, dafür sprechen auch die zahlreichen Variationen, die man an der marginalen Glia beobachten kann, die zugleich eine Beurteilung des *Fußstückes* selber erlauben.

Am einfachsten liegt die Sache da, wo der *Zellleib einer Gliazelle selber breit in der Grenzhaut eingepaßt ist*, was keineswegs selten ist. Hier fällt also die Fußfläche direkt in den Bereich der *Zellleibsmembran*. Fig. 29 zeigt dies an der M. lim. gliae superficialis des Kaninchenrückenmarkes. Auch beim Menschen habe ich dies oft gesehen, sowohl an der oberflächlichen wie perivasculären Grenzhaut. Die früheren Angaben von Golgi, wonach die „Zellkörper dicht den Gefäßwänden anliegen", sodaß diese „oft auf lange Strecken ihres Laufes von einer dichten Reihe strahliger Zellen umgeben" sind, „deren Körper fast einen Teil der Gefäßwand auszumachen scheint", gehören hierher. Ich deute sie als *Reihen von Zellleibern*, die nach meinen Beobachtungen an

Digitized by Google

der weißen Substanz des Großhirns vom Menschen entsprechend *große und lange Abschnitte einer perivasculären Grenzhaut* aufbauen. Auch dort, wo eine Gliazelle mit einem breiten und eine Gliafaser enthaltenden Fortsatz in eine perivasculäre Grenzhaut z. B. übergeht (Fig. 15), wird man nicht darüber im Zweifel sein, daß der betreffende Gliafuß im obigen Sinne zu deuten ist. Ebenso wird solche Entscheidung noch möglich, wenn nur eine schmale eben sichtbare Hülle wie ein blasser Saum die Gliafasern umgibt oder als eine feine verbindende Masse das Gliafaserbündel von dem Zellleib fort bis zum Gliafuß begleitet. Nun gibt es aber viele Gliafasern, die das nicht mehr hinreichend deutlich und sicher zeigen. Zwar finde ich an ihnen auf solchen Präparaten, die die Fasern dunkel gefärbt erkennen lassen, und die außerdem mit alkoholischer Erythrosinlösung oder dem VAN GIESONschen Picrocarmingemisch zur Sichtbarmachung des Protoplasmas der Gliazellen u. s. w. nachgefärbt sind, oft einen gleichmäßig glatten, roten Saum, der sie auf längere Strecken hin einhüllt. Von diesem Saum will ich nicht ohne weiteres behaupten, daß er eine protoplasmatische Hülle oder nur eine die Faser bedeckende Zellhaut sei, da für die *Fasern* natürlich auch eine *Differenzierungsform* und eine kontrastliche Rindenfärbung gelten muß, wie sie bei *Granulis* A. FISCHER als *Spiegeldifferenzierung* nachgewiesen hat. Dagegen ist bei einer *anderen Gruppe von Gliafasern die Existenz einer dünnen vielleicht auch nicht ganz kontinuierlichen Hülle dadurch zu erweisen,* daß eine solche nicht gleichmäßig dünn und homogen ist, sondern *eckig und zackig sowie stellenweise matt gekörnt* erscheint. Derartige Hüllen oder Besätze an Gliafasern fasse ich also als *reduzierte Reste* eines ursprünglich vollständig vorhanden gewesenen Protoplasmastückes auf, wie es die embryonale Gliazelle im Beginn ihrer Faserbildung noch erkennen läßt. Bei den völlig glatt aussehenden Fasern wäre die Reduktion bis auf den Fuß selber eingetreten, während sie bei der ersteren Form überhaupt nicht erfolgt ist, wo ein kurzer, zwischen Zellleib und Grenzhaut ausgespannter Fortsatz eine dünne, aber kontinuierliche Hülle um seine Fasern oder sein Faserbündel erkennen läßt. Von ihr endlich würde sich ein rein protoplasmatischer Fortsatz nur noch durch das Ausbleiben einer Faserbildung unterscheiden.

In diesen Beobachtungen sind die engeren Gründe dafür enthalten, daß ich die das fertige Zentralnervensystem abschließenden

Digitized by Google

Grenzhäute *Membranae limitantes Gliae superficialis et perivascularis* benannt habe. Daß ich sie den *Zellmembranen gleichwertig* erachten und ihre Gesamtfläche also aus einer Summe von Gliafüßen im obigen Sinne zusammengesetzt bezeichnen kann, wird aus jener Analyse der Gliafüße selber hinreichend begründet erscheinen müssen. Hinzukommen Beobachtungen von Flächenbildern, die bei geeigneter Fixierung und Färbung die ganze Grenzmembran als solche kenntlich machen. Bevor ich dieselben näher schildere, gebe ich eine kurze Übersicht, in welcher Weise bisher der *Begriff einer gliösen Grenzmembran* gewürdigt worden ist.

Identisch ist die *Membrana Neurogliae* mit der subpialen resp. perivasculären *Endothelmembran* Gierkes[48]), der sie nur irrtümlich der Pia mater zurechnete und für homogen, strukturlos und aus platten Zellen zusammengesetzt erklärte, obgleich er sie doch mit vielen feinen Fortsätzen der Gliahülle resp. der Gliazellen durch eine fußartige Verdickung verbunden sah. Ebenso entspricht ihr die *Bergmannsche Membrana limitans*[49]) am Kleinhirn, deren Zusammenhang mit den Füßen der Bergmannschen Fasern bereits gegen eine piale Natur sprach. Für die Erkenntnis der Membr. gliae perivascularis kommen die Beobachtungen Golgis (1885) in Betracht, welcher sie zuerst aus der *Vereinigung von Gliazellansätzen abzuleiten* versuchte. Seine Angaben sind[50]) (S. 161): „Der Ansatz geschieht in der Regel mit einer Ausbreitung, welche bisweilen von kegelförmiger, wohl begrenzter Gestalt, bald sehr dünn und ohne deutliche Grenze, so daß man fast sagen möchte, sie bilde ein perivasculäres Häutchen. An den Kapillaren und kleinen Arterien, welche keine bestimmte Adventitia besitzen, scheint der Ansatz direkt an die Endothelwand der ersteren und an die dünne Muskelhaut der zweiten zu geschehen. Auch in diesen Fällen scheint aus der Gesamtheit der Ausbreitungen der Ansätze der Zellfortsätze eine zusammenhängende Bekleidung hervorzugehen, welche der Gehirnwand unmittelbar aufliegt und eine Art von weiterer Adventitia darstellen könnte." Zwar haben schon Henle und Merkel[51]) unter der Pia eine feine, aus gekreuzten Bindegewebsfasern bestehende Grenzmembran beschrieben gehabt, welche beim Kleinhirn die Bergmannsche Membran u. s. w. bilden soll, und von welcher feine Fäserchen in der Gehirnmasse eindringen; zwar hat auch Roth (1867) an der Pia mater und an Blutgefäßen des Gehirns überall feinste Radiärfortsätze mit

Digitized by Google

trichterförmiger Abgangsstelle beschrieben gehabt und sie am Kalbshirn als derbere Fäden mit sternförmigen Zellen verbunden gesehen, ebenso wie BOLL (1873) die adventitiellen Scheiden der Hirngefäße mit den zottenartig sie bedeckenden, gestielten Ansätzen gewisser DEITERSscher Zellen (der BOLLschen Pinselzellen) im Sinne der ersten kurzen Angabe GOLGIS (1870 und 1871—2) besetzt gefunden, — zu der Auffassung, daß hier eine *besondere Grenzhaut* vorliegen könne, sind alle zusammen nicht vorgedrungen. Insbesondere gebührt also GOLGI außer GIERKE das Verdienst, die *Erkenntnis der außerordentlich wichtigen Beziehungen der Glia zum Gefäßapparat des Gehirns* angebahnt zu haben. Was dagegen die Bemerkungen GOLGIS über die entsprechende Oberflächenhaut des Gehirns anbetrifft, die speziell auch gegen die BERGMANNsche Membran gerichtet waren, so halte ich sie für unrichtig. Sein Hinweis z. B., daß die Oberfläche des Kleinhirns nur von einer dünnen Schicht leicht erkennbarer Gliazellen gebildet werde, die im Großhirn nur eine besondere Stärke habe, enthält doch zunächst keine Gründe, ob eine Grenzhaut vorhanden ist oder nicht. Dann hat u. a. J. SCHAFFER[52]) dargelegt, daß *von der Gliahülle* GIERKES, die aus cirkulären und longitudinalen Fasern bestehe, eine *radiäre Faserschicht* unterschieden werden müsse, welche mit radiären Faserenden in eine *Grenzmembran* übergehe, die die oberflächliche Pia sowohl wie die Adventitia der eindringenden Gefäße abschließe. Dadurch sei „in der Tat Glia und Nervensubstanz, die ursprüngliche ectodermale Anlage, scharf gegen die sekundär eingewucherten mesodermalen Elemente abgesondert." In besonderer Weise hat dann RENAULT[53]) den Nachweis einer Oberflächenhülle des Rückenmarkes bei Petromyzon geführt, indem er nach dem Vorgange von SCHELSKE, der an der Retina des Menschen mit Silber die Zusammensetzung der inneren Grenzhaut aus den Fußenden der MÜLLERschen Stützformen nachwies, die Oberfläche jenes Rückenmarks mit einem Pikrin-Osmium-Silbergemisch behandelte und zahlreiche abgegrenzte Felderchen beobachtete. Jedes Feld ist mit den benachbarten verkittet und entspricht dem Ansatze einer Neurogliafaser. Die zahlreichen kleinen Felder sind durch die entsprechenden Neurogliafasern wie kleine Basalplatten mit zahlreichen Neurogliazellen in Verbindung. RENAULT schließt, daß erstens die Neuroglia ectodermal ist, ihre Zellen wie Epithelzellen sich verhalten, und die WEIGERTsche

Digitized by Google

Lehre von der Unabhängigkeit der Gliafasern nicht richtig sein könne. Auf dem internationalen medizinischen Kongreß zu Paris (1900) hat dann Renault in der Diskussion zu dem Marinescoschen Vortrag (Du rôle de la nevrologie dans l'évolution des inflammations) noch hierzu hervorgehoben, daß er gleiche Verhältnisse auch bei Säugetieren gefunden habe und weiter überzeugt sei, daß die sogenannte Lymphscheide der Gefäße eine gleiche Bildung besitze und nur als eine Umbiegung jener oberflächlichen Lamina des Zentralnervensystems zu bezeichnen sei. Endlich hat E. Müller[18]) mit einer eigenen Methode ebenfalls nachgewiesen, daß den Weigertschen Befunden entgegen die Gliafasern ein besonderes Ende haben. Seine Befunde bei Myxine sind: „Die Gliafasern endigen, ganz wie die Ependymfasern, an der Peripherie des Markes mit kleinen, ungefärbten Füßen, die dicht an einander gestellt eine geschlossene Grenzschicht gegen die Pia bilden. Solche Endigungen findet man noch in dem Innern des Markes, indem die kleinen Füßchen der Gliafasern sich an den hier vorhandenen Gefäßen befestigen. Aus diesen sich regelmäßig zeigenden Bildern der Endigungsweise einer Menge in jedem Schritt verfolgbarer Gliafasern kann man wohl mit Recht schließen, daß alle Gliafasern in der gleichen Weise mit ungefärbten Füßen an der Peripherie oder an den Gefäßen endigen." Hierher gehört endlich auch die Angabe von Kure[54]), wonach die Gliazellen durch protoplasmatische Ausläufer mit der Gefäßwand resp. dem Endothel direkt verbunden sind (nach d. Referat im Neurol. Centralbl. 1902 S. 1017).

Meine folgenden Beobachtungen bestätigen zunächst jene verschiedenen Angaben über Grenzflächen und Gliafüße im Sinne Golgis; ich erweitere sie für jene Säugetiere und den Menschen insbesondere, für welche bekanntlich Weigert auf Grund seiner einseitigen Methodik zu einem die Golgischen Anschauungen völlig ablehnendem Resultat gekommen war. Wenn also Weigert auf seinen Präparaten konstatierte, daß die Neurogliafasern „niemals etwas von jenen konischen oder flaschenförmigen Erweiterungen" wie auf den Golgipräparaten erkennen liessen, und zu dem Schluß kam, daß seine elektiven Färbungen als die „maßgebenden" jene Füße nur als eine „Kittsubstanz" oder als ein „Kunstprodukt" nachwiesen, so ist dies unrichtig und unbegründet. Daß außerdem Weigert noch jene aufgesplitterten Gliafaserenden übersehen resp.

Digitized by Google

bei seiner radikal entfärbenden Methode nicht dargestellt bekommen hat, geht aus seiner Bemerkung hervor, daß „die Gliafaser bis zu ihrem Ende so schlank und gleichmäßig" bleibt wie früher. Einen Einwand, daß jene feineren Endfäserchen in Folge einer *anderen chemischen Natur* entfärbt würden, und also nicht mehr zum Begriff einer Gliafaser gehören, lasse ich nicht gelten, seitdem ich weiß, wie leicht und schnell solche dünneren Fadenbildungen bei differenzierten Färbungen verschwinden.

In Fig. 33b und Fig. 35 resp. 36 (linker Rand) habe ich *Flächenbilder der gliösen Grenzmembran der Oberfläche* dargestellt. Fig. 33b zeigt ihre Felderung am Kleinhirn des Kaninchens, Fig. 35 am menschlichen Großhirn. Ich füge hinzu, daß auch das menschliche Rückenmark und das menschliche Kleinhirn mir gleiche Ansichten gegeben haben. Fig. 33b zeigt besonders jene aufgesplitterten Gliafaserenden (Enden der BERGMANNschen Fasern) und ihre ungefähr radiäre Anheftung an die freie Grundfläche des Gliafußes. Die einzelnen Fußflächen sind durch Kittlinien verbunden, welche hier infolge der HEIDENHAINschen Methode (bei bestimmter Fixierung) schwarz gefärbt geblieben sind. Die *Grenzhaut selber*, welche im Durchschnitt wie eine feine glatte Linie erscheint, die nach innen in zahlreiche konische Zapfen sich verlängert, sieht im Flächenbild mattgekörnt aus, wenn man sehr wenig oder gar nicht differenzierte Präparate untersucht. Auch an den großen Gefäßen in den oberflächlichen Hirnschichten habe ich eine gleiche Felderung gesehen. Fig. 41 zeigt sie an einer Vene aus der menschlichen Hirnrinde. An den Kapillaren habe ich deutliche Flächenbilder bisher nicht darstellen können. Die Grenzhaut und ihre Kittlinien sind offenbar so fein, daß sich keine sicheren Differenzierungsbilder durch solche Methode gewinnen lassen. Den Übergang der oberflächlichen Felderung in diejenige der perivasculären Gliamembran zeigt Fig. 35 an der menschlichen Großhirnrinde in Flächenansicht.

Wie oben angegeben hat RENAULT aus seinen Beobachtungen über die Bildung seiner Lamina vitrea zwei Schlüsse gezogen, daß erstens die Gliazellen epithelialer Natur sind, und daß zweitens die Neuroglia allgemein deshalb auch ein rein ectodermales Gewebe bedeute. Gegen den ersten Satz habe ich keine Bedenken; aber für den zweiten ließe sich einwenden, daß zu irgend einer Zeit der Entwickelung der Gliagrenzhaut ein Durchbruch vom

Digitized by Google

mesodermalen Gewebe erfolgen könne. Dies auszuschließen, sind also besondere embryologische Beobachtungen notwendig.

Wie ich Anfang dieses Kapitels über die marginale Glia und ihre Entwickelung gezeigt, *dringen mit den einwachsenden Gefäßen mesodermale Zellen in die eigentliche Gehirnsubstanz im engsten Sinne des Wortes nicht ein*, da längs des Blutgefäßweges *sofort eine Ausbildung von feinsten Grenzen mit radiär gespannten Zellfäden einsetzt*, wodurch also auch im Inneren des Hirnparenchyms seine eigene Masse durch eine innere Oberfläche von Anfang an gewahrt bleibt. Außerdem habe ich nirgends eine eigentliche Vermischung von Zellen der wachsenden Gefäßsprossen mit den eigenen des Gehirns finden können. Man könnte einwenden, daß dann vielleicht die *Durchbruchsstelle der Nerven an der äußeren Oberflächengrenzhaut* Bedingungen für das Einschlüpfen von mesodermalen Elementen herbeiführten. Daß dies nicht der Fall, zeigen Fig. 26 und Fig. 27, welche an der Durchbruchsstelle eines *motorischen wie sensiblen Nerven eine Zurückhaltuug, eine Art von Aufstauung der mesodermalen Zellelemente* erkennen lassen. Bermerkenswert ist hierbei, daß die Neuroblastenfortsätze mit ihrer ectodermalen Eigenschaft glatt die Grenzhaut durchsetzen können oder siebartig durchlöchern, ohne jene Reaktion herbeizuführen, die das Mesoderm beim Eindringen der Gefäße verursacht. Jenen primären Durchbruchsstellen entsprechend zeigt nun auch am fertigen Zentralnervensystem das *betreffende Stück eines Gehirn- oder Rückenmarksnerven* eine *deutliche Grenze*, an der erst die *periphere Bildung von* Schwannschen *und* Henleschen *Scheiden* ansetzt, mit dem Unterschied nur, daß diese mesodermale Einhüllung und Verbindung der einzelnen Nervenfasern *nicht mehr genau wie beim Embryo in der unmittelbaren Höhe der Membrana limitans superficialis* liegt, sondern ein wenig in den *peripheren Teil* des betreffenden Nerven verschoben ist. Eine Tatsache, die bereits Schaffer und Weigert hervorgehoben haben, indem sie eine Neuroglia im Anfang eines abgehenden Nerven fanden. Auf ein *späteres Nachdrängen der zentralen Neuroglia* durch jene frühen Durchbruchsstellen infolge von stärkerem Wachstum und der besonderen Ausbildung von steiferen Fasern wird diese *periphere Vorlagerung der Gliascheiden* zurückgeführt werden müssen. Grenzt man allgemein das Zentralnervensystem nach seiner Membrana limitans Neurogliae ab, so würde also nach allen diesen Ausführungen sein wirkliches Ende

Digitized by Google

keineswegs mit der glatten und ebenen Oberfläche zusammenfallen, die man als solche sieht. Sie reicht einerseits überall in die Tiefe längs seiner Blutgefäßwege und reicht andererseits dort vielfach wie kleinste Buckel nach außen, wo seine Nervenwurzeln liegen. Beim N. acusticus des Meerschweins und der Maus ist sie z. B. so weit ausgedehnt, daß erst innerhalb des Meatus acusticus internus selber das Ende des Zentralnervensystems durch eine quere Grenzhaut gegeben ist.

Die *marginale Neuroglia* ist der Tiefe des Parenchyms zu noch durch eine *besondere Schicht der Glia charakterisierbar*, welche bereits in jenen Beobachtungen von HENLE und MERKEL, ROTH, GOLGI, BOLL, GIERKE, SCHAFFER u. a. enthalten ist. Es ist dies jene Zone, welche den *Zusammenhang der tieferen Gliaelemente mit der Grenzhaut selber* bedingt und durch eine ungefähr *radiäre Anordnung von Gliafüßen und Gliafasern* oder auch reinen Protoplasmafortsätzen resp. einem Gliareticulum mit radiär gespannten oder gefaserten Balken ausgezeichnet ist. Durch jene oberflächlichen Gliazellen, die direkt der Grenzhaut eingelagert sind, wird dieser allgemeine Charakter der Grenzschicht nicht geändert. Ich will sie als *Grenzschicht der Glia* bezeichnen. Mit gewissen Ausnahmen, die z. B. am Kleinhirn stellenweise bestehen, bildet sie sonst eine deutlich gegliederte und besonders von einer erst unter ihr gelegenen *Rindenschicht* (FROMMAN, WEIGERT, Gliahülle GIERKES) unterschiedliche Zone. Fig. 29—32a zeigen diese Verhältnisse an der Oberfläche vom Rückenmark (Kaninchen und Mensch), Fig. 33 beim Kleinhirn (Kaninchen), Fig. 34—38 beim Großhirn, Fig. 38—43 im Bereich der inneren Gefäßoberfläche.

Auf den von WEIGERT gegebenen Abbildungen der Neuroglia und des von ihr bedingten Abschlusses der zentralen Gehirnmasse ist *weder von einer Gliagrenzhaut oder von jenen Gliafüßen noch von einer Grenzschicht der Neuroglia* etwas zu sehen. WEIGERT hat nur eine *Rindenschicht* abgebildet, die schon FROMMANN[55]) und GIERKE (Gliahülle) bekannt war. WEIGERT faßt sie als letzte und äußerste Grenze des Gehirns zur Pia und der von ihr ins Innere eindringenden gefäßführenden Septen auf. Daß dies kein wirklicher Abschluß sein kann, sondern nur ein einseitiges Resultat starker Entfärbung zeigen meine Beobachtungen. Über jene *Rindenschicht* gibt WEIGERT folgendes an (S. 146): „Die Hauptmasse der Fasern pflegt mehr oder weniger schief tangential zu verlaufen, es kommen

Digitized by Google

aber noch außer vertikalen auch radiäre Fasern vor, und da, wo stärkere Fortsätze der Rindenschicht in die Tiefe der weißen Substanz eindringen, bilden sie oft nach innen konvergierende Bündel, die sich in bald zu erwähnender Weise weiterhin wieder auflösen. Gegen die Pia mater zu ist normaler Weise die Rindenschicht scharf abgesetzt, doch kommt es oft genug vor (Tafel 1 Fig. 3), daß Faserbündel wie die Haare einer Bürste über die sonst glatte Oberfläche der Rindenschicht herausragen, wie dies auch Fromman bermerkt hat."

Diese „Faserbündel" entsprechen nach meiner Meinung entweder einzelnen stark abgehobenen und auch gefärbt gebliebenen Teilen meiner Grenzschicht oder gewissen hernienartigen Wucherungen der marginalen Glia in das Piagewebe hinein, wie es von Schaffer z. B. gesehen worden und auch auf meinen Rückenmarksquerschnitten eines 25jährigen Hingerichteten vereinzelt vorhanden ist. In einem zweiten Fall eines jüngeren Hingerichteten waren stellenweise im unteren Lendenmark die Piabündel förmlich eingefangen von solchen flächenhaften Hervorquellungen der Glia. Ob dies vielleicht auf unvorsichtiges Herausnehmen des Rückenmarkes zurückzuführen, vermag ich nicht zu entscheiden. Im übrigen aber führe ich sonst die „scharfe Absetzung" jener Rindenschicht mehr als ein einseitiges Resultat auf die Weigertsche Methode zurück, da nach meinen Erfahrungen bei starker Differenzierung sich die radiäre Grenzschicht u. s. w. leichter entfärbt wie die Rindenschicht. Vielleicht aber stellt sich noch heraus, daß auf den Weigertschen Präparaten eine starke Anpressung der Grenzschicht samt der Membrana limitans Gliae an die Rindenschicht als eine Folge seiner Fixierungsmethode entstanden und deshalb von Weigert übersehen worden ist. Auf meinen Präparaten erscheint die gliöse Grenzhaut ein wenig segelartig abgehoben und von innen her durch die Füße jener Grenzschicht gehalten.

In ähnlicher Weise wie beim Rückenmark ist auch am Hirnstamm und an der Oberfläche des Großhirns die Abgrenzung der Neuroglia gegeben. Nur an der Kleinhirnrinde fehlt zum großen Teil eine oberflächlichere Lage von Gliafasern und Gliazellen und damit die deutliche Anordnung einer Rindenschicht. Es hängt hier die oberflächliche Grenzhaut vorwiegend mit den *tief aus der Molekularzone der Kleinhirnmasse emporsteigenden Gliafasern*, den sogenannten Bergmannschen Fasern (Fig. 33a, b) zu-

Digitized by Google

sammen, deren zugehörige Gliazellen hauptsächlich in der Höhe der PURKINJEschen Zellreihe gelegen sind. Die von GOLGI seinerzeit gegen solche Grenzeinrichtungen geltend gemachten Gründe können dieselbe nach meiner Meinung nicht umstoßen. Aber es kommt hinzu, daß die vielfach bei jungen Tieren von einigen Wochen noch als eine unmittelbar unter der Grenzhaut gelegene Zellreihe in reduzierter Form bestehen bleibt und zu Gliazellen reift, die an der Oberflächenvergrößerung dieser Grenzhaut beim Wachstum des Kleinhirns sich beteiligt. Beim erwachsenen Menschen (Hingerichteter von 25 Jahren) finden sich solche Zellen nur noch ganz vereinzelt; wenige von ihnen zeigen eine Entwicklung spärlicher Gliafasern, die flächenhaft verlaufen und nach einiger Strecke zur Grenzhaut umbiegen, wo sie mit einem Gliafuß endigen.

Zum Unterschied von der Kleinhirnoberfläche ist also die *Grenzhaut des Rückenmarks und Hirnstammes viel fester gehalten und gebaut*, infolge zahlreicherer Gliafüße sowohl als auch durch Ausbildung einer besonderen und mächtigen Rindenschicht, *die jenen tieferen und sie radiär durchsetzenden Gliafasern vielfach umliegende Fasern aus ihrer eigenen Zone beigibt.*

Zu der marginalen Glia dieser Regionen gehört auch noch außer jenen Teilen etwas, was auf den angegebenen Figuren vom Rückenmark des Menschen nicht dargestellt worden ist, und was auf so stark differenzierten Präparaten nur noch durch eine ausreichende Kontrastfärbung wieder zum Vorschein zu bringen ist. Es ist dies eine *netzartig geformte Masse,* welche den Gliafasern resp. den reinen Protoplasmafortsätzen von Gliazellen dieser Zone wie *breitere Balken oder dünnere und mehr oder weniger kugelig gewölbte Membranen zwischengespannt ist.*

Auf den Fig. 34a bis c und Fig. 36 kommt dies zur Ansicht. Zwar stellen diese Abbildungen die Eigentümlichkeiten der kortikalen Grenzglia bei bestimmter Differenzierungsgröße dar. Ich füge hinzu, daß ich andererseits Präparate von der Großhirnrinde besitze, wo die Differenzierung soweit getrieben ist, daß sie wie die Rückenmarksbilder jene einfache aber unvollständigere Anordnung der einzelnen Elemente geben.

Jene Figuren (34 und 36) zeigen also, daß es an der marginalen Glia *innerhalb der eigentlichen Grenz- und Rindenschicht (beim Cortex kommt auch noch die unmittelbar tiefer gelegene Zone hinzu)*

Digitized by Google

zu einer Ausbildung von zahlreichen Netzbalken oder auch mehr und weniger abgeschlossenen und längs der einzelnen Gliafasern und der reinen Gliazellfortsätze ausgespannten Membranen kommt. Es besteht mit anderen Worten bereits unter der Grenzhaut selber gewissermaßen ein teilweise *kammerartiger Bau*, in dessen Wänden zahlreiche, teils flächenhaft, teils zur Grenzhaut emporstrebende Gliafasern wie innere Stützen enthalten sind. In welchem Umfang dieser eigentümliche Bau ausgeprägt ist, kann ich nicht angeben; vor allem auch nicht, wie weit er der Tiefe zu vorherrscht, und ob er in eine andere Formation hier übergeht.

Dagegen habe ich eine Reihe von Beobachtungen darüber gemacht, wie *die Größe oder Weite der Maschen* oder auch der Kammern innerhalb gewisser Bezirke der marginalen Glia *allgemein zu beurteilen* ist. Durch verschiedenartige Fixierung von Serien dünner Scheiben bin ich zu dem Resultat gekommen, daß es *größtenteils Wirkung eines bestimmten Fixierungsmittels ist, wenn man jene Maschen weit und deutlich* oder *ganz eng und kaum als solche zu erkennen* erzielt. Dazu kommt, daß *dasselbe Fixierungsmittel an verschiedenen Regionen eine ungleiche Wirkung* hat. So preßt z. B. das Alkohol-Chloroform-Eisessiggemisch die marginale Glia des Rückenmarks eng zusammen, während sie diejenige an der Großhirnrindenoberfläche deutlich maschig konserviert. Dasselbe Gemisch gibt endlich bei beiden Abschnitten gute Konservierung der Grenzhäute und Endfüße, während es beim Kleinhirn häufig eine Zerstörung der Bergmannschen Membran verursacht. Für die Oberfläche des Kleinhirns wirkt wiederum besser konservierend meine Chrom-Formalin-Eisessigfixierung, die auch am Großhirn brauchbare Bilder erzeugt. Alkohol, Müllersche Lösung geben gleichmäßig schlechte Resultate, Salpetersäure dagegen bessere. Zu den Fixierungsmitteln endlich, die *sehr eng zusammengepreßte Bilder* erzeugen, gehört die Altmannsche Chromosmiumfixierung, die außerdem die Grenzhaut ungenügend konserviert, sowie die Weigertsche Chromalaun-Kaliumbichromicumlösung. Am Rückenmark habe ich engere, aber noch deutliche Bilder an der Oberfläche durch das Sublimat-Osmiumgemisch erhalten. Welche Weite in den Teilen der marginalen Neuroglia dem normalen Zustand am meisten entspricht, vermag ich also nicht zu entscheiden, zumal da ich nicht genauer anzugeben weiß, ob und wie sehr örtliche Gewebsverschiedenheiten oder ungleiche Flüssigkeits-

Digitized by Google

füllungen innerhalb des Parenchyms hierbei beteiligt sind. Bei der Besprechung der perivasculären Räume komme ich zum Schluß dieses Kapitels nochmals hierauf zurück.

Wie die marginale Glia der äußeren Oberfläche ist nun auch vielfach diejenige der Tiefe im *Umkreis der Gefäße* zusammengesetzt. So finde ich im Rückenmark überall an den *Septen der Pia*, mögen sie feiner oder gröber sein, sowohl eine *Grenzschicht* wie eine durch fußartige Ansätze von zahlreichen Gliafasern gebildete *gliöse Grenzhaut* ausgeprägt, welche *perivasculärer* Natur ist, da in diesen bindegewebigen Septen fast überall gröbere oder feinere Gefäße liegen. Erst in etwas weiterer Entfernung liegt zu *ihren beiden Seiten je eine Rindenschicht* (s. Fig. 32), mit denen zusammen erst ein *FROMMANscher „Stammfortsatz"* gebildet wird. Ähnlich schließt sich das Neurogliagewebe im *Septum posterius* ab, sodaß je nach der wechselnden Breite dieser pialen Fortsetzung und seiner Tiefe eine M. limitans Gliae ausgeprägt ist oder fehlt. Wodurch es sich erklärt, daß die *Hinterstränge* des Rückenmarks ungleichmäßig in Länge und Tiefe von jener Grenzhaut getrennt sind. Zum Unterschied hiervon erscheinen die *Vorderstränge* des Rückenmarks in seiner vorderen Längsspalte auch der ganzen Länge nach durch eine gleichmäßiger tief und breit eingetriebene Masse von Gefäßen auseinandergedrängt. In der Tiefe der vorderen Spalte, teilweise auch dem hinteren Septum zu, läßt sich zudem noch etwas beobachten, was an anderen Stellen des Gehirns oder auch des Rückenmarks nicht so leicht oder überhaupt nicht mehr gelingt, daß nämlich der Grenzhaut die Füße der an Gliafaserbündeln reichen Fortsätze der Ependymzellen angeheftet sind. Vom Rückenmark des Kaninchens zeigt Fig. 1 und 2 den Ursprung dieser Gliafasern aus dem Ependym. In der Abbildung der gleichen Gegend eines menschlichen Rückenmarkes (25jähriger Hingerichteter mit obliteriertem Zentralkanal) stammen sie aus den faserreichen, gewucherten Ependymzellen (Fig. 31). Im übrigen finde ich an den *Blutgefäßen* des *Hirnstammes*, sowie der weißen Substanz von *Großhirn und Kleinhirn* mehr *schwächere* Rindenschichten. Nur stellenweise zeigen die groben Gefäße bei ihrem Eindringen in die Tiefe eine ihnen folgende stärkere Rinde von verfilzten Gliafasern, die an die gleiche Bildung längs der pialen Septa im Rückenmark erinnert. Weiter aber finde ich oft nur noch eine radiäre *Grenzschicht*. Die gröberen Kapillaren der Rinde zeigen solche Begrenzungen. Die

Digitized by Google

feinsten Kapillaren sind nur noch durch eine sehr zarte Grenzschicht abgesetzt, die außerdem zum größten Teil nicht mehr von *Gliafasern*, sondern *von feinen Protoplasmafäden*, den Ausläufern der Gliazellen resp. den Anteilen des Gliareticulum, gebildet werden (Fig. 41). Insofern ist also allgemein die *radiäre Grenzschicht* eine *konstante* perivasculäre Zone. Im Vergleich mit ihr bildet eine von einzelnen Gliafasern (Fig. 37, 32a) zu groben Faserzügen wechselnde Rindenschicht nur eine *accessorische* Einrichtung, welche die Grenzschicht der Gefäße mit ihren radiären Balken und ihren Gliafüßen verstärkt. Somit sind auch die *letzten Beziehungen der Neuroglia zu den Blutgefäßen der grauen oder weißen Substanz* durch eine Reihe von rings um das Gefäß gestellten Gliafüßen vermittelt, deren Form mit denen in der oberflächlichen Grenzschicht beschriebenen übereinstimmt. Zum Teil hängen diese Füße mit *radiären Gliafasern* zusammen, zum anderen Teil auch mit solchen, welche *der Länge nach das betreffende Gefäß* begleiten und dann unter mehr oder weniger starker Umbiegung erst ihren Gliafuß abgeben, was infolgedessen schwieriger und weniger umfangreich zu beobachten ist. Aus einer Summe von Gliafüßen entsteht dann rings um das Blutgefäß resp. um seine adventielle Hülle eine besondere Scheide, eben jene *M. lim. Gliae perivascularis*, die nach meinen Beobachtungen eine *vollständige Grenze für das betreffende Gefäßrohr samt seiner adventiellen Scheide zu der eigentlichen Masse des Zentralnervensystems bedeutet.* Die von Lloyd Andriezen[56]) und von Weigert beschriebenen, aus *verfilzten Gliafasern bestehenden Begrenzungen der Blutgefäße* (Obersteiner nennt sie geradezu „Begrenzungsmembranen") geben somit den *wirklichen Abschluß des Gehirns zu seinen Gefäßen* noch nicht an. Denn es fehlt die letzte Analyse der *radiären Fasern*, die *keineswegs ausschließlich in eine Längsrichtung umbiegen*, sondern im *Sinne Golgis mit Gliafüßen jene besondere perivasculäre Grenzhaut bilden.* Sonst ist die allgemeine Weigertsche Bemerkung, daß die Blutgefäße „für das Zentralnervensystem etwas genau so Fremdes, wie die eigentliche Pia mater" sind, und daß „die Grenze des Nervengewebes gegen ein Gefäß nichts anderes als eine *innere* Oberfläche" bedeutet, durchaus zutreffend, deren Wert auch durch die Entwickelungsgeschichte der Vascularisierung der Gehirnmasse, wie oben gezeigt, in besonderer Weise beleuchtet wird.

Die Untersuchung und Darstellung der *Membrana limitans*

Digitized by Google

Gliae perivascularis stößt auf noch größere Schwierigkeiten als diejenige der oberflächlichen Grenzhaut, da sie sehr leicht infolge ihrer Feinheit bei der Fixierung zerstört oder von den Gliafäden abgerissen wird. Hinzukommt, daß die verspätete Tiefenwirkung einer Fixierungsflüssigkeit im Innern eines Stückes Hirnsubstanz eine ungenügende Konservierung aller perivasculären Grenzhäute bedingt. Für das menschliche Zentralnervensystem leistet noch das Alkohol-Chloroform-Eisessiggemisch die gleichmäßigste Fixierung, wenn man die Stücke klein nimmt und vorsichtig einbettet; doch ist auch sie nicht frei von gewissen Verzerrungen, auf die ich unten noch eingehen werde. Alkohol und MÜLLERsche Lösungen geben durchweg schlechte Konservierungen. Fig. 43 zeigt die Alkoholwirkung. MÜLLERsche Lösung oder Chromsäurelösungen erhalten wenigstens nur Reste jener Grenze. Durch den Zusatz von Eisenalaun zur Lösung von Kal. bichromic. habe ich den Vorzügen dieser Flüssigkeit für die Markkonservierung eine Eigenschaft verleihen können, wenigstens für die Oberfläche und die weiße Substanz, die Gliafüße und ihre Endhaut gut zu konservieren. Doch hat es den Nachteil von Einbettungsschrumpfungen. Für die graue Substanz ist sie dagegen unbrauchbar, weil solche Schrumpfungen im Bereich der Nervenzellen (perizelluläre Lymphräume) zu groß ausfallen. Zum Unterschied von Fixierungsmitteln, welche zwar geringe Schrumpfungen und eine besonders deutliche Erkennung der Gliafüße und ihrer Grenzmembran geben, habe ich auch solche angewandt, welche vollkommen frei von Schrumpfungen sind und also *alle Elemente der weißen und grauen Substanz in enger Pressung* zeigen, sodaß sie in dieser Hinsicht vielleicht den besseren Situs zeigen. Vorläufig aber haben sie den Nachteil, die hier in Frage stehenden Gewebsgrenzen der Glia nicht sichtbar zu machen, da es an einer *elektiven Färbung der Gliafüße und ihrer Endhaut* fehlt, was bei ihrer dünnen Masse ganz hervorragende Schwierigkeiten hat. Ich gehe auf solche Fixierungsmethoden deshalb hier nicht näher ein, und begnüge mich zu konstatieren, daß auch bei ihnen stellenweise und *angedeutet* jene Endbeziehungen zu sehen sind, daß sie also wenigstens diese wichtigen Abschnitte der Neuroglia nicht von vornherein zerstören.

Nach diesen allgemeinen Auseinandersetzungen über den ungleichen Wert verschiedener Fixierungen für die radiäre Grenzschicht der Neuroglia gehe ich auf die besondere Frage nach den

Digitized by Google

Lymphgefäßeinrichtungen im Innern des Zentralnervensystems ein. Nach der einen Meinung enthält die *perivasculäre Zone* der Gehirnmasse die besonderen und eigentlichen *Lymphwege des Gehirns* (His), nach der anderen Auffassung (Golgi, Boll, Retzius) handelt es sich nur um *Schrumpfungsräume*. Hinzukommt, daß nach His *diese Räume nicht von „fädigen Bildungen" durchsetzt* sind, während andere (Roth, Henle, Merkel, Gierke, Schaffer, Binswanger und Berger) sie von einem *Faserwerk ausgestützt* finden und damit eine Parallele zu dem Lymphsinus mit seinem reticulären Gewebe finden. Eine Kritik dieser Anschauungen, die wohl nicht stärker von einander abweichen können, gebe ich im folgenden, wobei ich mich *hauptsächlich auf jene Beobachtungen einer Gliagrenzhaut*, ihrer *entwickelungsgeschichtlichen Bedeutung* und die von der *Fixierungsweise abhängige Darstellung einer radiärgefaserten Grenzschicht der Glia* stütze. Auf eine Diskussion der Resultate einer Injektion dieser Lymphwege werde ich dagegen hier nicht eingehen, da meine Versuche hierüber noch nicht abgeschlossen sind und vor allem auch noch nicht den Teil ganz erledigt haben, der von Binswanger und Berger durch Versuche über die resorbierenden Eigenschaften der Neuroglia und den Transport unlöslicher Bestandteile innerhalb ihrer Maschen angefangen worden ist.

Meine obigen Ausführungen über den Bau der marginalen Neuroglia zeigen zunächst, daß man in *Rücksicht auf jene Grenzhaut und ihre fußartige Befestigung am Gewebe der Glia* nicht mehr *ohne weiteres* jene klaren Löcher oder Kanäle, in denen die Blutgefäße des Gehirns oder Rückenmarks bei Schnittbetrachtung drinliegen, als natürliche resp. *natürlich weite* Räume für die Zirkulation einer lymphatischen Flüssigkeit auffassen darf. Ist der *Raum um das Gefäß* von *radiären Fasern oder groben Balken und Netzwerken durchsetzt*, so würde die *Grenzmembran der Glia*, sofern sie überhaupt erhalten ist, nach meinen Erfahrungen und Beobachtungen dem *Gefäß resp. seiner adventiellen Scheide angepreßt anliegen* (Figg. 38, 39a, b, c, 42). Finden sich dagegen *keine radiären Faserzüge* oder wandständige Reste von Füßen, so braucht nicht immer die Grenzhaut der Glia als eine aufgeweitete Hülle der *äußeren Wand* der klaren Lichtung anzuliegen, wie wohl mitunter zu sehen ist. Denn es kann auch bei bestimmter Fixierung als eine reine Folge derselben der *ganze Apparat von Radiärfasern, Füßen und Grenzhaut zerstört* sein. Ein Mittelding zwischen beiden

Digitized by Google

illustriert Fig. 43, wo nach Alkoholfixierung (und sekundärer Paraffineinbettung) die Grenzhaut dem Gefäß angedrückt und nur ihre Haltefasern zerrissen und zerstört sind. In jedem Fall wird also erst durch eine genaue mikroskopische Beobachtung entschieden werden müssen, welche Fixierungswirkung eingetreten ist, d. h. welcher *Anteil* bei der Fixierung die *verschiedene Schrumpfungsgröße der Blutgefäße und der umgebenden zentralen Substanz an der Bildung solcher Zonen und Figuren* hat. Unentschieden muß aber bleiben, ob vielleicht in diesen Abschnitten der marginalen Glia ein größerer Gehalt von transsudierter Flüssigkeit vorhanden ist als in der Tiefe und dadurch eine weitere und besondere Ursache für jene oben gekennzeichneten Unterschiede der Fixierungsflüssigkeiten bedingt ist oder nicht. Alle bisherigen Beobachtungen und Überlegungen reichen hierzu nicht aus. Einer künstlichen Schrumpfung kann die ebenfalls künstliche Wirkung einer stärkeren Zusammenpressung entgegengehalten werden.

Immerhin neige ich der Ansicht zu, daß den engeren Bildern eine größere Wahrscheinlichkeit zukommt, weil nach meinen früheren Erfahrungen die nervöse Substanz wasserreicher ist und sich infolge dessen bei der Schrumpfungswirkung der Fixierung und Einbettung gewissermaßen aus den Maschen ihres Stützgewebes retrahiert. Weshalb ich insofern der Meinung bin, daß die von GOLGI, BOLL u. a. behauptete Ansicht begründet ist, daß die von ROTH und GIERKE als *perivasculäre Lymphräume* angesprochenen Loch- und Kanalbildungen *Schrumpfungsräume* sind. So habe ich sie auch auf meinen Abbildungen bezeichnet. Ob sie andererseits vielleicht noch eine Bedeutung von virtuellen Lymphspalten haben können, darüber halte ich mit meiner Meinung noch zurück.

Jedenfalls *unterscheide ich von ihnen diejenigen Spalten,* welche *zwischen der Gefäßadventia und der Membrana limitans Gliae* liegen, und meine von ihnen, daß sie Flüssigkeitswege sind, welche von der adventitiellen Gefäßscheide her z. B. gefüllt werden können oder auch in diese hinein wieder sich entleeren, sofern die Grenzhaut der Glia eine weitere Diffusion in das eigentliche Gewebe der zentralen Substanz verhindern oder nur erschweren kann.

Ich *identifiziere diese Spalträume,* die also an der *genauen Grenze* zwischen dem *ectodermalen Gehirn* und seiner *mesodermalen Pia mater mit ihren Blutgefäßen und deren inneren Verzweigungen*

Digitized by Google

liegen und so entstanden sind, mit den *Hisschen Räumen*, und behaupte weiter, daß die gegen diese *perivasculären resp. epizerebralen Räume* geltend gemachten Gründe, wonach sie nur künstlich entstandene Schrumpfungsräume sind, nicht stichhaltig sind, weil sie die von Roth, Gierke u. s. w. dargestellten Retraktionslücken betreffen.

Daß ich diese *Grenzräume* des Gehirns in meinem obigen Sinne mit den His schen Räumen identifizieren kann, wird aus Folgendem klar sein. Durch die Freundlichkeit von Herrn Geheimrat His habe ich seine Originalpräparate mit den meinigen daraufhin vergleichen können. Auf den His schen Schnitten erscheint nun zunächst sein Kanalsystem vollkommen klar und *glattwandig*, sodaß es mit den Roth schen Räumen nicht identisch sein kann. Man könnte auf den Gedanken kommen, daß es sich trotz dieses Unterschiedes nur um künstlich erweiterte und glatt gewordene Retraktionsräume handele, in denen nur infolge der Fixierung das radiäre Gewebe der marginalen Glia u. s. w. vollständig zu Grunde gegangen sei, so wie ich es oben gezeigt habe, zumal da His[57]) solche Schnitte seinen Beobachtungen zu Grunde gelegt hat, welche von in Alkohol oder in Chromsäure gehärtetem Material angefertigt worden sind. Nun hat aber His angegeben, daß „seine Spalten stets vollkommen glatt begrenzt und von einer nachweisbar verdichteten Substanzschicht eingesäumt" sind. Wenn also jener Einwand richtig sein sollte, müßten doch irgendwo faserige Reste von Glia zu sehen sein. Ich habe vergeblich darnach auf den His schen Präparaten gesucht. Dazu kommt, daß ich an einigen *dünnen Stellen jener Schnitte*, die eine *Immersionsvergrößerung* zulassen, *eine den betreffenden perivasculären Kanal der Gehirnmasse zu begrenzenden*, ein wenig abgehobenen feinen Saum gesehen habe, von dem ich glaube, daß er eine hier erhaltene Grenzhaut bedeutet. Warum aber zum Unterschied auf meinen Präparaten diese fraglichen Spalträume nur eng erscheinen, vermag ich nicht irgendwie zu entscheiden.

Ist nun überhaupt dieser *Spaltraum zwischen der bindegewebigen Scheide eines Blutgefäßes und der Membrana limitans Gliae perivascularis* oder derjenige, welcher als *His scher Epicerebralraum zwischen der oberflächlichen Gliahaut und dem Gewebe der Pia mater liegt*, ein Saftraum, der von einer wechselnden Flüssigkeitsmenge ungleich geweitet wäre oder mindestens jederzeit durch das glatte Aus-

Digitized by Google

einanderweichen der bindegewebigen Gefäßscheide und jener Grenzhaut sich bilden würde? Ein solcher Einwand führt zur Frage, ob nicht das der *Grenzhaut anliegende Gewebe mit ihr selber verklebt* ist, sodaß nicht einmal eine leichte Lösung, wie sie zur schnellen Bildung eines sonst kollabierten Spaltraumes nötig wäre, erfolgen könnte. Damit wäre dann mehr oder weniger auch das *Einheitliche jener Räume* in Frage gestellt.

Ich führe hierzu zunächst von meinen Injektionsversuchen einen am Kleinhirn des Kaninchens an, welcher außer aus jenem Grund auch den Charakter der gliösen Grenzschicht (der BERGMANNschen Membran) als einer *geschlossenen* Haut bestimmen sollte.

Durch *Einstichinjektion einer dünnen Tuschelösung gegen die Unterfläche der M. limitans superficialis habe ich ihre Durchlässigkeit und Festigkeit* zu prüfen versucht. Natürlich wird auf ihrem Wege dahin die Tuschelösung mehr oder weniger künstliche Wege laufen, worauf es aber in diesem Fall zunächst nicht ankommt. Mit einer PRAVAZschen Spritze und einer besonderen konischen Kanüle habe ich unter möglichst leichtem und geringem Druck injiziert und mit der Injektion aufgehört, sobald sich an der Oberfläche eine geringe Menge von Tuschelösung ausbreitete. In anderen Fällen habe ich noch weiter injiziert und dann jene Beobachtung von HIS wieder machen können, daß, sobald einmal eine gewisse Menge von Injektionsmasse an die Oberfläche gedrungen, sie sich plötzlich und auf einmal auf eine weitere Strecke hin ausfließend verbreitet. Die betreffenden herausgeschnittenen Stücke habe ich dann in Alkohol-Chloroform-Eisessig fixiert, welcher sowohl jene Grenzhäute und Gliafüße einigermaßen vollständig zu fixieren vermag als auch die Tusche selbst schnell niederschlägt. Durch Untersuchung einer Reihe von Schnitten habe ich dann die Wege der Injektionsmasse bestimmt. Sie hat sich in dem einen Fall zum Teil in seitlicher Abzweigung von der Injektionsrichtung *unter der M. lim. Gliae superfic.* ausgebreitet gehabt und wie Fig. 45 mit starker Vergrößerung zeigt, sich überall unter jener Grenzhaut und längs jener Gliafüße der emporsteigenden Gliafasern gefangen, während sie *nirgends hier durch die Grenzhaut selber gedrungen* ist. An einer *Stelle*, welche direkt in der *Richtung der Injektion* gelegen ist und jedenfalls unter einem *größeren Druck* gestanden haben wird, war dagegen ein *Platzen der Grenzhaut* erfolgt, wodurch sich erst in umfangreicher

Digitized by Google

Weise ein *oberflächlicher, epicerebraler Raum* zwischen M. lim. Gliae und Pia gefüllt hatte. Fig. 46 gibt bei starker Vergrößerung eine Stelle wieder, welche weit von jener Durchbruchsstelle entfernt an der konvexen Oberfläche des Kleinhirns lag; sie zeigt die *glatte Injektion dieses Raumes,* von dem aus ebenfalls in *umgekehrter Richtung nun keine Tuschemasse in jene Gebiete der Gliafüße unterhalb der M. limitans vorgedrungen ist.* In beiden Figuren ist auch eine geringe Strecke weit die *Injektion perivasculär* geworden. Während Fig. 45 die Injektion eines *künstlichen, von Gliafasern durchzogenen Raumes* darstellt, handelt es sich andererseits nach meiner Meinung bei der Fig. 46 um die Füllung eines natürlichen Spaltes im His'schen Sinne, der dadurch entsteht, daß die *Pia mater nirgends mit jener M. lim. Gliae flächenhaft verwachsen ist.*

Untersuche ich nun den Situs der Pia mater und ihrer inneren Fortsetzungen zur Membrana limitans Gliae auf Schnitten von fixiertem Material, so finde ich vielfach außer jenen Stellen, wo das piale Gewebe oder einzelne Teile desselben gegen die Grenzhaut angepreßt sind, *eine glatte Lösung beider Schichten.* Ebenso führt nach meinen Erfahrungen eine *vorsichtige Entfernung der Pia keineswegs zu einer Läsion der Grenzhaut,* sodaß ich Präparate erhalten habe, wo diese Grenzhaut des Gehirns als eine freie und von Pia nicht mehr bedeckte Linie die Eigengrenze des Gehirns direkt erkennen läßt. Ich verweise hierzu ferner auf die Angaben von Key und Retzius[58]) S. 145, wonach die Pia mater mit ihrer *Intima piae* sich *leicht* z. B. vom Rückenmark abtrennt, „ja beinahe zu leicht, weshalb es gar schwer ist, feine Querschnitte von Pia und Rückenmark in beibehaltener Lage zu erhalten." Die spätere Bemerkung (S. 146): daß die Intima piae „mit einer dünnen Flächenschicht von Neuroglia leicht vereinigt ist, aber doch so innig, daß kein freier Zwischenraum (His, Epimedullärraum) hier vorhanden ist", stimmt dazu nicht so recht. Ebenso habe ich an der folgenden Angabe („Die Neuroglia befestigt sich, ohne Modifikation ihres Gewebes zu erleiden, an der gegen sie übrigens scharf und gut als Haut begrenzten Intima piae, und die steifen Fasern der Mittelschicht treten keineswegs in die Neuroglia ein") nur auszusetzen, daß die Bezeichnung einer „Befestigung" nach meiner Meinung für die an *dieser Stelle nur lose aufliegende Pia* nicht richtig ist. Im übrigen meine ich, daß natürlich jener Raum nicht immer offen und weit sein wird,

Digitized by Google

aber in sich die Eigenschaft hat, jederzeit bei bestimmten Bedingungen offen zu werden und sich zu füllen. Die erwähnte Gegenpressung pialer Fasern an die Grenzhaut betrachte ich also als eine durch Fixierung entstandene. Wozu ich weiter die frühere Bemerkung von HIS citiere, daß die leichte Isolation von „ganzen Gefäßbäumen des Gehirns durch einfachen Zug mit der Pincette", sich daraus erkläre, daß die „Gefäßadventitia in durchaus keiner Verbindung" mit der Wand der perivasculären Kanäle stehe.

Zu allen diesen Gründen kommt nun endlich noch ein *weiterer Umstand* hinzu, welcher in der *Struktur* der *Intima piae* und ihrer *perivasculären Fortsetzung* längs der inneren Blutgefäße und ihrer adventiellen Scheide enthalten ist.

Die *Intima piae* zeigt nach KEY und RETZIUS eine eigentümliche dünne Schicht, eine *„Häutchenzellenschicht"*, welche „zerstreute Kerne und um sie herum eine dünne protoplasmatische Zone enthält, die diffus in das körnige Häutchen übergeht". Unter ihr liegt ein *feines elastisches Fasernetz.* Diese Beschreibung trifft auch nach meinen Betrachtungen vollkommen die Wirklichkeit. In Fig. 33b und c habe ich eine kurze Strecke weit am Kleinhirn des Kaninchens das Gegenüber dieser tiefsten Schicht der Pia und der oberflächlichen, eigentlichen Grenzhaut des Gehirns im Flächenbild und in der dazu senkrechten Schnittansicht dargestellt. *Zellgrenzen* habe ich zum *Unterschied von der M. lim. Gliae* an dem *pialen Zellhäutchen nicht darstellen können.* Ich halte sie für eine *dünne syncytiale Zellmasse.* Der Hissche Epicerebralraum ist also nach meiner Auffassung von zwei wohlcharakterisierten Zellflächen verschiedener Abstammung und Wertigkeit, die eine glatte Lösung von einander zulassen, natürlich begrenzt.

Für die *Grenzen der perivasculären Räume* sind meine Beobachtungen weniger vollständig, insofern sie für das Gebiet der *feinsten Kapillaren* die hier interessierende Frage nach der *Gefäßscheidenbegrenzung durch eine jener oberflächlichen „Häutchenzellenschicht" entsprechende Bekleidung* offen lassen müssen.

Bekanntlich hat zuerst VIRCHOW[59]) angegeben, daß an den Hirngefäßen überall eine „homogene Schicht" vorkommt, „die sehr expansibel ist und schon durch einfache Wasserimbition zuweilen in so großen Säcken abgehoben wird, wie es sonst durch Blut geschieht". Nach VIRCHOW geht diese Schicht auch „zuweilen auf

Digitized by Google

Gefäße von kapillarem Charakter" über. Dann haben Robin[60]) und His[61]) unabhängig von der Virchowschen Angabe und von einander eine feine und besondere Hülle beschrieben, welche nachher als „Virchow-Robinsche Scheide" bekannt geworden ist. Nach Robin ist diese Scheide „d'une substance homogène ou à peine striée". Zum Unterschied von der Robinschen Textfigur und seiner Fig. 3 Pl. VI zeigen die Hisschen Figuren 10—13 auf Taf. XXVIII eine mit länglichen Kernen besetzte adventielle Hülle, deren Zellelemente nach His als „überlagerte" eine sichere Unterscheidung von den ebenfalls länglichen der Kapillarwand selber ermöglichen.

An meinen Präparaten vom *Kaninchen*, das im allgemeinen durch wenig bindegewebsfaserreiche Hüllen des Gehirns u. s. w. ausgezeichnet ist, finde ich nicht nur die feineren Kapillaren, sondern auch die *größeren Gefäßstämme* (s. Fig. 39a von einer aufsteigenden Arterie) von einer vorwiegend zelligen Hülle eingescheidet, die *stellenweise dem Gefäßrohr selber anliegt* und dann einen *weiten perivasculären Raum* zeigt, bald aber auch der M. limitans Gliae perivasc. *eng* angedrückt ist und dann von jenem *perivasculären Raum nichts* mehr angibt, sondern nur eine *offene Virchow-Robinsche Scheide* erkennen läßt. Beim *Menschen* dagegen finde ich an den *größeren Gefäßen*, z. B. an denen in der vorderen Rückenmarksspalte oder an solchen, welche eben in die graue Großhirnrinde eingedrungen sind (Fig. 37), auch eine stattliche *Menge von faserigem Bindegewebe* im Umkreis des eigentlichen Gefäßrohres mit *spärlich* angefügten adventitiellen Kernen. An den *Kapillaren* finde ich in Übereinstimmung mit His ausschließlich jene *rein zellige Hülle*, die im Bereich *der feinsten Kapillare nur noch ganz vereinzelte und in größeren Abständen von einander gestellte Kerne* zeigen, welche dann eine entsprechende *konkave Einbuchtung* der *feinen M. lim. Gliae* verursachen (Fig. 41). Ich kann aber nicht mehr angeben, ob das *zugehörige Protoplasma der verschiedenen und so weit gestellten Kerne*, wie es bei jener abgebildeten Arterie des Kaninchens z. B. noch zu beobachten war, *eine einheitliche, nirgend unterbrochene Zellhaut bilden.* Auch die früheren Angaben von Eberth[62]), wonach die Hirn- und Rückenmarksgefäße bis auf die feinsten Kapillaren mit einem äußeren, aus *kernhaltigen Plättchen* zusammengesetzten *Perithel* überzogen sind, lassen diese Frage ungelöst. Eine Verwechselung etwa mit

Digitized by Google

Resten der M. lim. Gliae halte ich dadurch für ausgeschlossen, daß EBERTH *in den einzelnen Plättchen Kerne* gesehen und sie außerdem an den mittleren Gefäßästen der Art. fossae Sylvii beobachtet hat, die bereits völlig außerhalb der Grenzhaut liegen. Im übrigen führe ich seine andere Angabe, wonach kernlose Fädchen aus der circumvasculären Verdichtungsschicht der Gliafasern am Perithel verbreitert inserieren, auf eine zu enge Anpressung der feinen Gliagrenzhaut an jene äußere Schicht der Adventitia zurück. Von RIEDEL[61a]) sind übrigens die EBERTHschen Perithelzeichnungen auf kleinsten Arterien bestätigt worden. Für seine Angabe, daß eine direkte Verbindung der adventiellen Lymphscheiden verschiedener Gefäße vorkommen, welche als reinste Vasa serosa anzusprechen wären, habe ich auf meinen Schnitten keine Anhaltspunkte gewinnen können. Das einzige, was ich ihr zur Seite stellen könnte, sind *weitere Einscheidungen von verästelten Gefäßbäumen durch die Membrana limitans Gliae*, wie es die Figg. 32a u. 39b zeigen, die auf Schnitten natürlich *stellenweise leer von Gefäßröhren oder auch von Bindegewebsmassen* sein können. Da es sich hier aber nicht um adventielle Räume handelt und außerdem RIEDEL an Isolationspräparaten jene Gebilde gesehen hat, so finde ich keine eigentlichen Vergleichspunkte. Dasselbe muß ich von den Angaben KRONTHALS (Neurol. Zentralblatt 1890) sagen; seine Lymphkapillaren habe ich auf meinen Schnittpräparaten nicht gefunden. Was die *Übergangsstelle* der adventitiellen Gefäßscheide in das Gewebe der oberflächlichen Pia mater anbetrifft, so würde also an der Stelle der sogenannte *Piatrichter*, jenes Zellhäutchen der Intima piae, in diese besprochene *adventielle Wandschicht der perivasculären Räume* sich fortsetzen. KEY und RETZIUS geben hierfür an (S. 146), daß „die steifen Fasern der Circulärschicht der Intima mit dem Trichter und der Scheide ebenso steif und gerade laufen, wie in der Pia selbst" und sich späterhin „im allgemeinen etwas von dem Zellhäutchen trennen und sich dicht an die Wände des Gefäßes legen, oft dasselbe mit ihren Zweigen kreuzend". Womit meine bisherigen Beobachtungen durchaus übereinstimmen.

Zwei Fragen muß ich also hierbei offen lassen, die für die Vorstellung von der Saftbewegung innerhalb des Gehirns und ihrer besonderen Räume, dem ROBINschen und dem HISSchen Raum, von großer Bedeutung sind. Die erste Frage ist die, ob in der Tiefe des Gehirns, d. h. im *Gebiet seiner feinsten Kapillaren die beiden Spalten*,

Digitized by Google

welche konzentrisch das Blutgefäß bis dahin begleitet haben, *mit einander zusammenhängen oder nicht.* Sie würden in einander einfach und breit übergehen, sobald sich präzis und sicher nachweisen ließ, daß jenes von der Pia herstammende Zellhäutchen der Tiefe zu irgendwie aufhörte. Die andere Frage ist, ob der zwischen dem pialen Zellhäutchen und der M. limitans Gliae gelegene Spaltraum mit den Lymphgefäßen der Pia mater zusammenhängt. His selber hat angegeben, daß die perivasculären Räume mit jenen Lymphwegen kommunizieren, was teils bestritten, teils bestätigt worden ist. So führen z. B. Golgi und Key und Retzius jene Füllung auf eine Mitverletzung der adventiellen Gefäßscheide bei der Einstichinjektion zurück. Ich selber habe noch keine abgeschlossenen Erfahrungen hierüber. Bei anderer Gelegenheit werde ich hierauf zurückkommen. Soviel will ich hier noch bemerken, daß bei der erschwerten Deutung alleiniger Injektionsresultate die Frage nach den *weiteren Verbindungswegen der Hisschen Räume* auch dann lösbar werden muß, sobald im Sinne meiner Definition, wonach die Hisschen Räume als dehiscierende Spalten zwischen der Intima piae und der M. limitans Gliae liegen, irgendwelche Lücken in dem Zellhäutchen der Pia mater nachweisbar werden.

Ich habe zum Schluß dieses Kapitels noch kurz meine Stellung zu der von Bevan Lewis[60]) ausgeführten Ansicht von einem besonderen, den perivasculären Lymphscheiden zwischengeschalteten „Lymphkonnektivsystem" der Hirnrinde zu präzisieren. Dasselbe soll nach ihm und auch nach Andriezen aus denjenigen Gliazellen bestehen, welche mit bestimmten Gefäßfortsätzen versehen sind und dadurch eine Saftzirkulation bewirken sollen. Für ein solches von gewissen Gliazellen nur, welche morphologisch durch Größe und Mehrkernigkeit charakterisiert sein sollen, gebildetes System haben sich Binswanger und Berger[61]) ausgesprochen, welche bei Untersuchung der feinen Rindenveränderung beim Menschen nach einer ausgedehnten und aus dem Seitenventrikel stammenden subarachnoïdalen Blutung, die „wohl auch an Zahl vermehrten Gliazellen der Molekularzone der Rinde massenhaft mit feinkörnigem Blutpigment erfüllt" fanden. Die perivasculären Räume waren weit, aber frei von Blut, ebenso die „perizellulären" Räume.

Binswanger und Berger haben nun den Schluß gezogen, *„daß die Gliazellen der Molekularschicht mit ihren Fortsätzen bis an den Subarachnoïdalraum reichen und tatsächlich ein Lymph-Konnektiv-*

Digitized by Google

system im Sinne BEVAN LEWIS' *darstellen, und zweitens, daß eine Verlegung der intraadventitiellen subarachnoïdalen Lymphräume eine Drucksteigerung in dem anderen — dem extraadventiellen — perizellulären Saftbahnsystem zu Folge hat.*" Aus diesem dreiteiligen Schluß scheint mir die *Erklärung der Pigmentierung jener Gliazellen* im Sinne von LEWIS richtig zu sein, was auch noch beide Autoren durch *Karmininjektionen* in den *Subarachnoïdalraum eines lebenden Hundes* (nach gewisser Zeit fanden sich solche *Karminkörnchen in den Gliazellen*) bekräftigt haben. Nur haben BINSWANGER und BERGER noch *keinen definitiven Beweis für die feineren Wege* erbracht, auf welchen diese beiden Substanzen in den Leib der Gliazellen gelangt sind. Das Problem bleibt also dahin ungelöst, ob ausschließlich in den sogenannten *Saftspalten der Glia, zwischen dem Filz ihrer Fasern* u. s. w. jener Transport vor sich gegangen ist, oder ob er in der Hauptsache durch eine *aktive Beteiligung des Gliazellenprotoplasmas von jenen Gliafüßen her* besorgt worden ist. Für letzteres spräche ihre Angabe (S. 538), daß „einzelne Karminkörnchen sich auch streifenförmig in den Gliafäden, welche von den Zellen abgingen", abgelagert fanden. Dagegen meine ich, daß ihre Behauptung, wonach die Gliazellen bis an den Subarachnoïdalraum resp. seine Fortsetzung, den ROBINschen oder ihren intraadventitiellen Raum heranreichen, nach meinen obigen Darlegungen unrichtig ist. Dasselbe halte ich von dem letzten Teil ihrer ganzen Schlußfolgerung, da der von ihnen so bezeichnete Raum (extraadventitieller oder HISSscher Raum) nach meiner Meinung bereits *innerhalb der marginalen Glia* liegt. Da außerdem bisher für diese Zone der Neuroglia eine von der Wirkungsweise der Fixierung als unabhängig erkannte Maschenweite noch nicht festgestellt worden ist, so muß natürlich auch ihre Erklärung aus einer *alternierenden Drucksteigerung* nur als eine Annahme erscheinen, die noch weitere Experimente und Untersuchungen nötig hat.

Für die Diffusion von Flüssigkeiten und den Transport von Stoffen, soweit sie aus dem Blutgefäßrohr stammen oder in die begleitenden Lymphwege zurückführen, sind also allgemein nach meinen obigen Ausführungen *zwei Filtrationsflächen in einer zu den Nervenzellen radiären Richtung angeordnet* zu unterscheiden, wobei ich von der eigenen Endothelfläche des Blutgefäßes selber absehe. Die *erste* würde in dieser Richtung das *Zellhäutchen der Intima*

Digitized by Google

piae, rsp. die gleiche Schicht der *adventiellen Blutgefäßscheide* repräsentieren; die *zweite* würde *in der Membrana limitans Gliae* als der parenchymatösen Grenze der Hisschen Räume gegeben sein. Zugleich würde hier das *Lymphkonnektivsystem* von Lewis in Form jener Gliafüße ansetzen. Nur rechne ich dazu nicht nur seine Gliazellen, sondern ohne weiteres und mindestens die ganze Menge der marginalen Glia, wobei aber nach dem heutigen Umfang unserer Kenntnis verborgen bleiben muß, ob es überhaupt Gliazellen gibt oder wie viele es sind, die sich *nicht* an der Bildung einer oberflächlichen und tiefen Grenzhaut beteiligen. Berücksichtigt man nämlich die Gesamtfläche der oberflächlichen Gliagrenzhaut, die Kleinheit der einzelnen Felder der Gliafüße, sowie den Reichtum der zentralen Substanz an Blutgefäßen und der für ihre Einscheidung nötigen Summe von Gliafüßen, so erscheint meine Rechnung nicht unbegründet. Zu unterscheiden wird aber bei den weiteren diesbezüglichen Untersuchungen sein, ob jener Transport von Stoffen ausschließlich innerhalb der Gliazellen und ihres Protoplasmas oder innerhalb ihrer Maschenräume vor sich geht. Erst dann würde die Frage nach dem Anschluß der Nervenzellen an jene extragliösen Lymphräume einer Lösung sich nähern können. Von Obersteiner ist behauptet worden, daß es für die zentralen Nervenzellen noch besondere Lymphräume gibt, die er als *perizelluläre Räume* bezeichnet hat und von denen er meint, daß sie in *direkter Verbindung mit den perivasculären Räumen* stünden. Bereits His hat sich von vornherein gegen solche Einrichtung ausgesprochen gehabt und das damit begründet, daß er an gut injizierten Präparaten nie eine „Verbindung dieser ringförmigen Höfe mit dem System der perivasculären Räume" gesehen habe. Ich führe gegen jene Ansicht den von mir oben bereits entwickelten Begriff einer Gliagrenzhaut an. Im folgenden Kapitel werde ich außerdem hierzu nachweisen, daß die Entstehung freier Räume um die Nervenzellen im Obersteinerschen Sinne auf einem bestimmten Artefakt beruht.

4. Über netzartig verzweigte Gliazellen.

Wie ich im vorigen Kapitel für die *marginale Neuroglia* bereits angedeutet habe, sind die vorherrschenden Anschauungen von einer rein *frei verästelten Form der Gliazellen*, wie sie die Ranviersche

Digitized by Google

Isolationsmethode oder die GOLGIsche Imprägnationsmethode demonstrieren, *nicht richtig*. Eine Erklärung jener eigentümlichen und deutlichen Formung, die auf *einer netzigen oder mehr membranartigen Verbindung* von mehreren Gliazellen mit eingefügten, überkreuzten Gliafasern beruht, aus einer *reinen Verfilzung* ist nach meiner Meinung nicht möglich. Eine solche trifft nach meiner Meinung nur für die Menge der Gliafasern zu. *Jene übrige Masse*, welche erst die *wirkliche Form des Gliagewebes* ausmachen würde, scheint im allgemeinen diesen beiden Methoden zu entweichen. Hiermit schließe ich mich also in gewisser Weise PALADINO an, der von einzelnen Gliazellen der grauen Substanz und von denjenigen der weißen eine netzförmige Ausbreitung angegeben hat. Seine Behauptungen von dem Zusammenhang der Glia mit dem Mark der Nervenfasern, sowie mit dem Gewebe der Pia, kann ich jedoch nicht unterstützen.

Jene obigen Befunde an dem netzförmigen Bau der marginalen Glia will ich hier durch Beobachtungen erweitern, welche ich vereinzelt auch an den *Elementen der weißen und grauen Substanz* im unmittelbaren Bereich der Nervenfasern und Nervenzellen selber habe gewinnen können. Daß ich an der marginalen Neuroglia der äußeren Oberfläche umfangreicher und leichter eine netzartige Formation habe darstellen und beobachten können als in der Tiefe der zentralen Substanz, wird, abgesehen von der anfänglichen Wirkung des noch reinen Fixierungsmittels, vor allem wohl darauf zurückzuführen sein, daß hier zum Unterschied von jenen Zonen *keine oder eine nur geringe Beimischung oder Einfügung von nervösen Elementen* besteht.

Zunächst beschreibe ich hier genauer jene obigen Angaben über den netzförmigen Bau der Glia marginalis. Wie ich auf der Fig. 34a—c, 36 u. 37, sowie in Fig. 39a dargestellt, erscheinen mir die Gliazellen in dem Grenzgebiete zur Pia oder auch zu deren tiefen, gefäßhaltigen Fortsetzung bei nicht zu stark differenzierter Färbung und auf dünnen Schnitten als *netzförmig verzweigte und jedenfalls zum Teil mit einander zusammenhängende Elemente*. Die *netzartige Verzweigung entsteht zunächst durch solche des Protoplasmas der betreffenden Gliazellen*, wobei vielleicht noch eine eigentümliche und *modifizierte Zellsubstanz* eine gewisse Rolle spielen mag. Diese netzartige Masse zeigt weiter eine *wechselnde und verschieden laufende Summe von Gliafasern*, welche *teils in den*

Digitized by Google

Netzbalken als quer oder längs getroffene feinere und intensiv dunkel gefärbte Fasern liegen, teils im Protoplasmaleib der Gliazellen eingeschlossen sind. Führt man unter ausgiebiger Anwendung der Mikrometerschraube genaue Tiefenbeobachtungen aus, so zeigt sich dieses Netz als ein allgemeines, die betreffenden Schnitttiefen durchsetzendes, dreidimensionales Netz- oder Maschenwerk. Der Oberfläche zu, d. h. gegenüber dem Bindegewebe der Pia resp. der adventiellen Scheide der inneren Blutgefäße ist dieses Maschenwerk durch eine Membran abgeschlossen, wie ich oben nachgewiesen habe. Daß es stellenweise auch *in sich selber geschlossene* Maschen- oder Hohlräume ausbilden kann, schließe ich aus *undifferenzierten Präparaten.* Zum Teil sind allerdings diese Räume durchbrochen, zum kleinen Teil aber auch wirklich geschlossen, sodaß ihr Schnittbild erst jene erstere Formation geben würde. Deren gröberen Balken resp. den dickeren Wandabschnitten entsprechen die sonst als Fortsätze der Gliazellen bezeichneten Zellteile, wie sie also bei einer gröberen Isolation oder einer unvollständigen Silberimprägnation naturgemäß entstehen müssen, da sie zu einer Zerreißung der übrigen Anteile resp. zu einer optischen Unsichtbarkeit dieser Netzwerke führen. Ebenso ist klar, daß endlich eine reine Faserfärbnng wie sie die Weigertsche Methode gibt oder differenzierte Hämatoxylinfärbungen, die ich an den unmittelbar folgenden Kontrollschnitten ausgeführt habe, entstehen lassen, *statt jener eigentümlichen Gewebsform nur einen mehr oder weniger dichten Filz von Fasern* zeigen. *Von freien Neurogliafasern als einer zellunabhängigen Interzellularsubstanz kann hier natürlich nicht die Rede sein, da sie ja in der angegebenen Weise intrazelluläre Anteile* dieses von Zellen und Zellaufzweigungen zusammengesetzten Gewebes der marginalen Neuroglia sind.

An den *Gliazellen der weißen Substanz* und zwar derjenigen des Rückenmarks, des Kleinhirns und des Großhirns habe ich bei gleicher differenzierter Hämatoxylinfärbung gefunden, daß *außer den Gliafasern*, welche teils längs, teils in mehr querer Richtung oder auch in reiner Überkreuzung die faserigen Gliascheiden der zentralen markhaltigen Nervenfasern bilden, noch eine *Masse* vorhanden ist, welche *körnig oder gerinselig erscheint*, mehr oder weniger vollständig und oft nur sehr dünn die einzelnen Gliafasern umhüllt oder breiter dieselben dort verbindet, wo sie sich überkreuzen oder dichter nebeneinander laufen (Fig. 11 und 12).

Digitized by Google

Diese Masse ist im allgemeinen nur sehr dünn ausgebreitet und wie ein feines Netz angeordnet, wo zwischen den Gliafasern kernfreie Strecken vorhanden; sie wird aber sofort gröber und deutlicher, sowie man in die Nähe von kompakterem Gliazellenprotoplasma und seiner Ausläufer kommt, wobei man beobachten kann, daß jene Substanz mit dem Protoplasma der Gliazellen zusammenhängt resp. aus ihr hervorgeht. Es sind mit anderen Worten die *weiteren* und vielleicht noch irgendwie besonders beschaffenen *Verzweigungen jener Gliazellenfortsätze netzartig angeordnet; sie begleiten zugleich die Gliafasern, sie mehr oder weniger einhüllend oder auch verbindend.* (Fig. 14 und 15 aus der weißen Substanz des Großhirns). Ich erinnere hierbei, daß ich auch in der *Substantia Neurogliae centralis* einen derartigen netzförmigen Bau finde, der hier mit jenen Fortsätzen der Ependymzellen und ihren Seitenzweigen, sowie denen der subependymären Gliazellen zusammenhängt. Er erscheint mir nur gröber und enger, sowie aus dickeren und dichter gekörnten Balken oder Lamellen zusammengesetzt.

Die *Nervenfasern der weißen Substanz* sind also in einem *maschigen oder netzförmig* gestalteten Gewebe gefaßt, welches sie *scheidenartig* begleitet und zu *einem Teil aus Fasern* besteht, welche als *Gliafasern* nur *überkreuzt* sind, im übrigen aber durch jene mit dem Protoplasma der Gliazellen zusammenhängende Zwischenmasse netzartig oder auch mehr flächenartig im Bereich der Gliazellenleiber selber vereinigt erscheinen. Man könnte mir einwenden, daß diese von mir beobachtete und zunächst als netzförmig verzweigte Protoplasmamasse von Gliazellen bezeichnete Zwischensubstanz der Gliafasern nur ein Kunstprodukt sei, welches aus einer lymphatischen Flüssigkeit, die man sich ja zwischen den Gliazellräumen vorstellt, durch den Fixierungsvorgang niedergeschlagen sei und an jene Zwischenwinkel der Gliafasern angeklebt und festgehalten sei. Man könnte auch behaupten, daß es Gerinnungsreste oder Lösungsreste aus der zentralen Markmasse seien, die solches nur vortäuschten. Gegen die letzte Meinung führe ich an, daß außer den Fixierungslösungen, welche wie das Alkohol-Chloroform-Eisessiggemisch mit nachfolgender Härtung in 96% oder 100% Alkohol die Markmasse zum großen Teil lösen, auch solche Fixierungen gleiche Resultate geben, welche wie die MÜLLERsche Lösung z. B. oder eine Mischung von Kal. bichrom. und Eisenalaun die Markmassen konservieren, wenn sie sie auch aufblättern.

Wozu ich außerdem anführe, daß die netzartige Substanz anders aussieht und anders sich entfärbt wie jene fixierten oder partiell gelösten Markscheiden oder Markscheidenreste. Sehe ich außerdem davon ab, daß die *direkte Zugehörigkeit einer netzig geformten Gliascheide zu einer Gliazelle* von mir wiederholt beobachtet worden ist, so spricht auch das noch vor allem für meine Behauptung, daß bei Färbungen, die den granulären Bau der Gliazellen demonstrieren, *protoplasmatische Körnchen längs der Gliafasern verteilt zu sehen sind*, welche mit den Körnchenmengen des Zellleibes oder eines dickeren Fortsatzes selbst in Farbe und Größe übereinstimmen und außerdem durch eine feine, matt entfärbte Masse stellenweise mit jenen Zellabschnitten verbunden erscheinen. (Fig. 4c; Fig. 3 zeigt dasselbe an der subependymären Glia des IV. Ventrikels).

Zu diesen Beobachtungen kommen andere, welche ich auf Präparaten der Betheschen Molybdänmethode angestellt habe. Unter den Bildern, welche diese Methode in wechselnder Weise von den Elementen des Zentralnervensystems liefert, sodaß sie auch in gewisser Weise zu ihrer Deutung eine Erfahrung an anders gefärbten Präparaten nötig hat, habe ich einige gefunden, die mit meinen obigen Befunden eine weitgehende Übereinstimmung erkennen lassen.

So besitze ich Rückenmarkspräparate vom Hund und vom Rind, die mir für die Substantia Neurogliae centralis sehr deutlich eine allgemeine und durchgreifende Netzform der gliösen Protoplasmamasse in blaß violettem Farbton zeigen. Dunkelblau sind zugleich und zufällig eine Anzahl von Gliafasern gefärbt, welche aus einzelnen Zellleibern von subependymären Gliazellen hervorgehen und weiterhin in den Balken jenes Netzwerkes verlaufen, nicht etwa in ihren Zwischenräumen, wie man nach der Weigertschen Lehre von einer faserigen Interzellularsubstanz erwarten sollte. Es stimmen also diese Präparate mit solchen überein, die ich oben beschrieben habe.

Von Bethe[65]) ist seinerzeit im Zentralnervensystem von Wirbeltieren ein *„Füllnetz"* beschrieben worden, welches an eine frühere Beschreibung Golgis (ges. Abhandl. 1894, S. 249) von einem allgemeinen diffusen Netzwerk erinnert. Es kommt nach ihm nicht nur in der grauen Substanz vor, sondern „geht auch auf die weiße Substanz über und füllt hier ähnlich wie die Weigertsche Glia Spalten zwischen den Markscheiden aus, indem es die

Markscheiden umspinnt." Es hat weiterhin auch „Beziehungen" zu Blutgefäßen, Gliakernen und der Pia mater. „Mit den WEIGERTschen Gliafasern hat das Füllnetz direkt nichts zu tun; es besteht nicht aus verklebten derartigen Fasern, wie man aus übermolybdänierten Schnitten ersehen kann, an denen die WEIGERTschen Gliafibrillen (allerdings nicht schön) zutage treten. Es scheint mir nicht ausgeschlossen, daß das Füllnetz ein Gerinnungsprodukt ist, ich will aber nichts Bestimmtes darüber aussagen." Als etwas *Besonderes*, was mit dem Füllnetz nichts zu tun hat, hat BETHE die *GOLGInetze* bezeichnet. Er meint von ihnen, daß sie *nervös* sind, aus *Neuritenenden* wahrscheinlich hervorgehen und wahrscheinlich auch durch die in ihren Netzbalken laufenden Fibrillen mit den *Neurofibrillen* der von ihnen umsponnenen Nervenzellen zusammenhängen. Ich habe[66]) dann dazu ausgeführt, daß das BETHEsche Füllnetz ein *allgemeines Gliareticulum* vorstelle, welches an *zwei Stellen nur eine besondere Modifikation* zeige, an der *Oberfläche der Ganglienzellen* der grauen Substanz, wo es die *GOLGInetze* unter Verdichtung seiner Substanz bilde, und an den Marksegmentgrenzen der Nervenfasern, wo die Gliascheiden zu den *Gliaschnürringen* sich zusammenschließen. Als Gründe habe ich u. a. damals mitgeteilt, daß ein *kontinuierlicher Zusammenhang* zwischen den Balken des Füllnetzes und denen der GOLGInetze bestehe, und daß zweitens erst mit dem GOLGInetz als seinem besonderen Stützgnetz dasjenige Netz alterniere, welches aus den Endflächen von Neuriten als nervöses perizelluläres Terminalnetz hervorgehe. Ich füge jetzt weitere Beobachtungen hinzu, die mir zum großen Teil schon damals bekannt waren, und die als einen II. Teil über diese besonderen Formbeziehungen der Neuroglia hinzuzufügen mich nur äußere Gründe damals abgehalten haben. Diese Beobachtungen enthalten die *direkten Beziehungen des „Füllnetzes" oder des Gliareticulum zu der Masse der Gliazellen.*

Sucht man nämlich auf solchen Präparaten der BETHEschen Molybdänmethode, anf denen die Füllnetze zur blassen Darstellung nur gekommen sind, in der weißen Substanz z. B. nach irgend welchen sonstigen Beziehungen derselben, so wird bald auffallen, zumal wenn man Quer- und Längsschnitte derselben Gegend miteinander vergleicht, daß die blasse und bald dichter, bald enger gekörnte Masse des Füllnetzes mitunter deutlich eigentümlich hellen und ziemlich ungefärbten Straßen folgt, welche mit der

Digitized by Google

Richtung der Nervenfasern mehr oder weniger stark gekreuzt sind und oft deutlich zu den Stellen der Gliakerne hinführen, wobei jedoch die Masse des Füllnetzes von dem Gliazellkern selber durch eine noch blässere Substanz in geringem Abstande stets entfernt gehalten wird. Untersucht man hierzu Präparate, die möglichst wenig alkoholdifferenziert worden sind (Fig. 16, 17), oder solche, bei denen durch alkoholdifferenzierte Erythosinnachfärbung eine gewisse, wenn auch nicht sehr elektive und elegante Darstellung jener blassen Stellen erfolgt ist, so sieht man, daß das Füllnetz eine bestimmte Beziehung zu einer ebenfalls netzartig verzweigten Substanz der Gliazellen selber haben muß.

Daß das Füllnetz keine „verklebten Gliafasern" bedeutet, gebe ich Bethe zu; aber es hat insofern nach meiner Meinung mit ihnen zu tun, als es ihren Wegen folgt, resp. sie in seiner Masse mit enthält. Wie ich in Fig. 16 und 17 aus der weißen Substanz des Kleinhirns vom Kaninchen dargestellt habe, hängt das Füllnetz, welches auf dem Längsschnitt die ziemlich ihrer Länge nach getroffenen Nervenfasern mit Gliascheiden und Gliaschnürringen zeigt, mit mehreren Gliazellen zusammen, welche in ihrer protoplasmatischen Ausbreitung selber blasser gefärbt sind. Am Zellleib und an ihren Fortsätzen, welche radiär abgehen und zum Teil sicherlich den Gliafasern der Zelle entsprechen dürften, zeigt sich dagegen eine dunkler gefärbte Masse, welche zu einem Teil aus Körnchen und Streifen oder auch kurzen Stäbchen zusammengesetzt ist und in wechselnder Verteilung die Balken des Füllnetzes besetzt und in dichterer Zusammenfügung endlich die Substanz des Schnürringes mit bilden hilft. Im Querschnittsbild zeigt das Gleiche die Fig. 17, wobei besonders bei der flach angeschnittenen Gliazelle eine Flächenansicht jener dunkler gefärbten eigentümlichen Masse zu sehen ist, welche hier, etwas undeutlich netzig verteilt, die Oberfläche des Zellleibes einnimmt, weiterhin aber spärlicher in den Netzbalken selber resp. in ihren Knotenpunkten angeordnet ist. Derartige Präparate können demonstrieren, daß diese *Masse des Füllnetzes den Gliazellen und ihren Fortsätzen folgt*; daß sie in der Oberflächenschicht dieser Stützzellen aber selber enthalten ist resp. dieselbe zum Teil ausmacht, geht noch nicht unmittelbar daraus hervor. Deutlicher wird solche Beziehung schon an mit Erythrosin nachgefärbten Präparaten, die mir zeigen, daß jene bei der Molybdänmethode *dunkel gefärbten Substanzteile*

Digitized by Google

in der *Oberfläche* der nun rot gefärbten Zelle enthalten sind und *in den Fortsätzen geringe seitliche Verdickungen* bilden. Dazu kommt, daß meine Hämatoxylinfärbungen mir Bilder geben, welche sich direkt hiermit vergleichen lassen, da sie jene eigentümliche Substanz des Füllnetzes als *eine vom übrigen Protoplasma des Gliazellenleibes durch etwas dunklere Färbung und oberflächliche Lage unterschiedene Masse* zeigen, welche weiterhin längs der Gliafasern sich fortsetzt und hier jene Verteilung hat, die ich oben auf *faserdifferenzierten Präparaten* als partielle Hüllen derselben resp. Verbindungsbalken beschrieben habe. Ich verweise weiter hierzu auf Fig. 14, welche die *Bildung eines Gliascheidenanteiles aus einer Gliazelle der weißen Substanz des Großhirns* vom Menschen wiedergibt, die ich durch eine etwas andere Entfärbung erzielt habe, sodaß nur die allgemeine Verästelungsform der betr. Zelle, weniger bereits die in ihr enthaltene Gliafaser, zum Ausdruck kommt.

Von BETHE ist angegeben worden, daß sein *Füllnetz überall an den Blutgefäßen und der Pia mater mit seinen Balken inseriere.* Wie ich im 3. Abschnitt gezeigt habe, sind solche Beziehungen ein *Charakteristicum der marginalen Glia.* Ihre *allgemeine Form* ist ebenfalls die eines *Netzes,* welches von Gliazellen geliefert wird und reicher oder ärmer an Gliafasern sein kann, wodurch sein gliöser Charakter im Sinne WEIGERTS entschieden wird, der ja zuerst eine Sicherheit in der Erkennung des Gliagewebes durch ihren Gehalt an Gliafasern geschaffen hat. Fig. 34—38 zeigen diesen Charakter der marginalen Glia an Hämatoxylingefärbten Präparaten; was ich an solchen mit der BETHEschen Methodik gesehen, entsprach ihrer Formation, nur daß jene Beziehungen zu dem Gliazellenprotoplasma sowie die Gliafasern mit ihren Gliafüßen und außerdem noch der häutchenartige Abschluß durch eine Grenzmembran nicht zum Ausdruck kamen.

Ich habe endlich noch Beobachtungen an *gewissen Gliazellen der grauen Substanz gemacht.* Im Bereich des Vorderhorns des Rückenmarks finde ich an den gliösen *Begleitzellen der großen Nervenzellen* eine Form und Verästelungsweise, die meine vor kurzem geltend gemachten Gründe in hohem Maße verstärken können, sodaß ich jetzt die perizellulären GOLGInetze an den zentralen Nervenzellen als *gliöse Stützuetze* bezeichnen kann. Wie Fig. 18 und 19 zeigen, sind es *Gliazellen, welche die GOLGInetze aus sich hervorgehen lassen.* Fig. 18 zeigt zunächst einen Kalottenschnitt

Digitized by Google

durch die einer Nervenzelloberfläche anliegende Zone der grauen Substanz. Die Nervenzelle ist selber nicht getroffen; nur ganz vereinzelte Neurosomenhaufen ihrer nervösen Endfläche zeigen ihre Nähe an. Dagegen sind zwei Gliazellen angeschnitten, die zusammen ein Netzwerk liefern, in dem auch einzelne sehr feine Gliafasern enthalten zu sein scheinen. Die Formation dieses Netzes gleicht genauer derjenigen eines Golginetzes, wenigstens spricht für *solche Idenfizierung der Umstand, daß hier einzelne Neurosomenhaufen in ihren Maschen liegen*, von denen ich früher solche charakteristische Lage an einer Nervenzelloberfläche angegeben habe. Da aber an diesem abgeschnittenen Netz keine direkte Lagebeziehung zu einer Nervenzelle selber zu sehen ist, so brauchte in Bethescher Bezeichnungsweise das Netz erst ein solches zu sein, welches als „Füllnetz" die *weiteren Umkreise* des eigentlichen und von ihm verschiedenen Golginetzes einnimmt, das hier selber dann noch nicht getroffen wäre. Fig. 19 zeigt nun von einer anderen Stelle desselben Präparates, wo zugleich zwei Nervenzellen und ihr Belag von Neurosomenhaufen angeschnitten ist, mit Sicherheit, daß erstens es die die Nervenzellen begleitenden Gliazellen sind, welche ihre Golginetze liefern und daß zweitens solche Hüllnetze kontinuierlich in das diffuse Netz übergehen, welches als „Füllnetz" z. B. den jenen beiden Nervenzellen zwischengelagerten Zug markhaltiger Nervenfasern mit Gliascheiden versieht. Die *substantiellen Unterschiede*, die die Bethesche Methode *zwischen GOLGInetz und Füllnetz* gezeigt, kommen hier allerdings nicht zum Ausdruck; dafür aber zeigt dieses Präparat, daß *beide nur zonale Anteile eines allgemeinen, weil von Gliazellen gebildeten, Gliareticulum bedeuten*. Bei der Bethe schen Methodik kommen im allgemeinen solche Beziehungen zwischen den Gliazellen und den Golginetzen oder auch den Füllnetzen nicht zum Ausdruck, da außer ihren Kernen weder ihr eigentliches Protoplasma noch ihre Gliafasern gleichzeitig mitgefärbt werden. Die Betheschen Abbildungen zeigen alle die betreffenden Netze erst in einiger Entfernung von Gliakernen einsetzend. Ich glaube hierfür eine Erklärung geben zu können, welche einen solchen Grund zum Teil in der Methodik nachweist. Derselbe ist in der Wirkungsweise eines Alkalis auf das Gliagewebe enthalten, welches bei der Bethe schen Methode in Form der alkoholischen Ammoniaklösung zur Anwendung gelangt. Solche Wirkungen sind mir seit

Digitized by Google

meinen Fixierungsversuchen mit Laugenalkohol aufgefallen und speziell für meine neueren Versuche, mit Hilfe von molybdanisierten Hämatoxylinlösungen die fraglichen Netze zu differenzieren, als besondere Veränderungen wieder bekannt geworden, wenn ich eine Behandlung der bereits fixierten und aufgeklebten Schnitte mit Laugenalkohol der Beizung und Färbung vorausschicke. Es zeigt sich hierbei, daß die den *Gliakern zunächst umgebende protoplasmatische Substanz irgendwie verändert* oder gelockert, vielleicht auch partiell gelöst werden muß, sodaß sie künstlich bei der nachträglichen Färbung und Differenzierung einen *mehr freiliegenden Gliakern* entstehen läßt. Wodurch es verständlich erscheint, daß bei der BETHEschen Methodik erst im Umkreis der Gliakerne und nicht mehr durch eine irgendwie deutliche Protoplasmamasse mit ihnen verbunden das allgemeine Gliareticulum anfängt. Weiter geht aber aus diesen Beobachtungen hervor, daß die Substanz der Netze, welche als dunkel gefärbte Masse im Gliareticulum durch die BETHEsche Methodik hervorgehoben wird und im besonderen Abschnitt des „Füllnetzes" lockerer und weiter verteilt, in der Zone der GOLGInetze und Gliaschnürringe dagegen, wie ich früher ausgeführt, kompakter und enger gehäuft ist, nicht *einfaches Gliazellenprotoplasma* der angegebenen Herkunft ist, sondern *eine irgendwie beschaffene und besondere Substanz* bedeutet. Mit den im Gliazellenprotoplasma sonst noch vorkommenden Granulis, deren Verteilung in Zellleib und Fortsätzen ich oben angegeben (siehe Fig. 4 c), halte ich sie nicht für identisch, schon aus morphologischen Gründen, wozu solche hinzukommen, daß Granulafärbungen nie eine Andeutung jener Netzsubstanz geben. Positive und sichere Anhaltspunkte über die Art dieser Masse habe ich bisher nicht finden können.

Damit komme ich zu dem allgemeinen Schluß, daß, abgesehen natürlich von der Entstehung einer protoplasmatischen Granulierung, die *Gliazellen* sonst im Laufe der Entwicklung zwei verschiedene Substanzen ausbilden, die auch in der Form unterschiedlich sind, 1. die WEIGERTschen *Gliafasern* und 2. die in dem *Gliareticulum* mit seinen beiden Zonen enthaltene besonders färbbare Substanz.

Meine obige Auffassung von der *Natur der Begleitzellen der Nervenzelle* als besonders und enger verzweigte, netzförmige Gliazellen, welche wegen ihrer gehäuften Lage an der Oberfläche dieser Elemente eine besondere Hülle und Stütze für jene Zellen

Digitized by Google

sowohl wie für ihr perizelluläres nervöses Terminalnetz bedeuten müssen, gibt mir einen Anlaß, eine begründete Erklärung für die Entstehung jener Obersteinerschen Räume zu geben. Ich stütze mich hierbei außerdem auf eine *Reihe von verschiedenen Fixierungen*, die nicht nur alle *Übergänge von der Enge zur Weite* bei diesen angeblichen perizellulären Lymphräumen demonstrieren, sondern vor allem auch eine *Zerreißung der netzförmigen Verästelung jener Gliazellen* beweisen. Ich stimme also durchaus den ersten Angaben Golgis zu, welcher die Obersteinerschen Räume für einfache Retraktionslücken als Folge ungeeigneter Fixierung erklärt und bereits jene angeblichen Lymphkörperchen hier für wahrscheinliche „Bindegewebskörperchen" (die damalige Bezeichnungsweise Golgis für die heutigen Gliazellen) des umgebenden Stromas gehalten hat. Die Angabe von Andriezen, wonach die im „perizellulären" Raum befindlichen Zellen kurze Fortsätze haben, betrifft also durchgerissene Zellformen. Erst recht nicht stimmt jene Behauptung Friedemanns mit der Wirklichkeit, daß diese „Randzellen" eine Endothelauskleidung des perizellulären Lymphraumes wären. Von Paladino[67]) ist nun beobachtet worden, daß jener perizelluläre Raum von einem mit dem übrigen Stützwerk der umgebenden Substanz zusammenhängenden Netzgewebe ausgefüllt sei. Ich identifiziere meine obigen Angaben mit dieser Beobachtung und meine, daß die Vermutung Obersteiners (Bau der nervösen Zentralorgane 1901 S. 221) von einer „Verwechselung mit Nervenenden" die Sache nicht erledigt.

Zum mindesten ergibt sich also, daß die noch von einem Netzwerk durchzogenen Höfe um die Nervenzellen einigermaßen die normalen Verhältnisse wiedergeben; wobei aber jener Unterschied unberücksichtigt bleiben muß, der zwischen *nur locker oder stärker angespannten Netzteilen* besteht, und von dem man ebensowenig bisher wie vom Rothschen Raum genau sagen kann, ob solche Unterschiede *außer auf Fixierungswirkung* auch noch auf eine *ungleiche Füllung von Gliaspalten mit lymphatischer Flüssigkeit wirklich zurückgeführt werden dürfen.*

5. Elemente der Neuroglia bei Wirbellosen.

Als einen kurzen Anhang nur zum vorigen Kapitel beschreibe ich hier von Hirudo officinalis zunächst einige Beobachtungen, welche

Digitized by Google

eine auffallende Ähnlichkeit gewisser Zellelemente und ihrer Produkte mit den *netzförmig verzweigten Gliazellen* der Wirbeltiere in ihren *allgemeinen Beziehungen zu Nervenzellen und Nervenfasern* erkennen lassen.

Auf den Figg. 47a, b, c und Figg. 48a und b habe ich die *Gliascheiden um die Nervenfasern eines Konnectivs* von Hir. off. abgebildet, wie sie meine Hämatoxylinpräparate zeigen. Sie bilden ein enges Gitter, welches je nach der *gedehnten oder verkürzten Leibeslänge* des Tieres eine *wechselnd weite Maschung* zeigt (Fig. 48a zum Unterschied von Fig. 48b). Die Balken des Gitters, die bald gröber, bald sehr fein sein können, zeigen nicht überall eine reine Überkreuzung sondern auch eine richtige Verlötung ihrer Substanz. Diese maschigen Gliascheiden sind nun, wie die Figg. 47a—c zeigen, die *außerordentlich lang gewachsenen Differenzierungsprodukte einer einzigen Zelle*, welche in der Mitte eines Konnektivs gelegen ist. Als radiäre Septen in der Quere des Konnektivs und zu Röhren in seiner Länge sind diese maschig geformten Gliabalken von der Zelle fort entwickelt, mit der sie übrigens durch ein *in ihrem Protoplasma ausgespanntes Gitter* direkt zusammenhängen. Das *intrazelluläre Gitterwerk* ist in der Kernzone feiner, um an der Oberfläche der ganzen Riesenzelle sowohl in ihrer Kernhöhe (47b) wie an beiden Polen (47a u. c) in grobe Balken überzugehen, die sich dann wiederum und vorwiegend in der Länge des Konnectivs erst in jene gleichmäßigeren Gliascheiden der einzelnen Nervenfasern fortsetzen. Es ist klar, daß eine derartige Gitterformation eine beträchtliche Scheerfestigkeit abgibt, die den Nervenfasern des Konnektivs bei den Längenverkürzungen des Tieres einen ausreichenden Schutz und Halt verleiht. Diese *Riesengliazelle*, welche durch ihre gitterförmigen Gliamassen zum mindesten die *Nervenfasern eines Konnektivs einhüllt*, entspricht dem, was APÁTHY[68]) als *Konnektivspindel* bezeichnet hat; meine Beschreibung ihrer Gliaprodukte stimmt mit derjenigen APÁTHYS überein. HOLMGREEN[69]) hat inzwischen eine Abbildung (Fig. 73 auf Tafel XIV) dieser Zelle gegeben, die diese Verhältnisse im Längsschnitt beurteilen läßt. Auf seine Auffassung komme ich unten zurück.

Vergleiche ich die Nervenfasern des Konnektivs mit der weißen Substanz eines Wirbeltieres, so erscheint hier von einer *einzigen Zelle* gebildet, was dort das faserige Produkt einer *Summe*

Digitized by Google

kleinerer Gliazellen ist. Wie deren Gliafasern mit dem Protoplasma der Zellen noch vereinigt sind, so ist bei Hirudo der Anfang jener Gliascheiden in einem von Protoplasma umhüllten *intrazellulären Gitterwerk* enthalten, wozu ich hervorhebe, daß auch bei den *Astrocyten der Wirbeltiere* (siehe Fig. 4a vom Kaninchen, 6 vom Menschen) ein *schwaches intrazelluläres Netzwerk in Verbindung mit ihren Gliafasern* vorkommen kann. Sonst erscheinen die Gliafasern in den Gliascheiden der weißen Substanz mit einander unverbunden; ihre stellenweise sehr deutlich geordneten *Überkreuzungen* (Fig. 12 vom Menschen, Fig. 5b vom Kalb) haben also nur eine äußere Ähnlichkeit mit jener netzmaschigen Formation, die den erwähnten beträchtlicheren Körperveränderungen zu folgen geeigneter erscheint, während jene nur die Druckschwankungen der Gehirnmasse und deren Eigengewicht auszugleichen haben.

Mit den *Gliazellen der grauen Substanz* vergleiche ich in der Hauptsache diejenigen Zellen, welche Apáthy als *mediane Sternzellen* bezeichnet hat; hinzukommen solche, welche von ihm *Sternzellen der Ganglienzellenpakete* genannt werden. Beide halte ich mit Apáthy für gliaproduzierende Zellen, welche unter anderem die besonderen Hüllen der Ganglienzellen bilden. Daß auch hier meine Befunde mit denen Apáthys ziemlich vollständig übereinstimmen, wird meine folgende Beschreibung zeigen.

Die zwei *medianen Sternzellen eines Bauchganglion*, an dessen ventraler Längsfurche sie liegen, bilden für die zentrale Fasermasse und die ihr aufsitzenden Ganglienzellen zwei *Riesengliazellen*, die sich derjenigen eines Konnektivs vergleichen lassen. Sie sind in ihrem Protoplasmahof wie diese von einem Gliagitter durchsetzt (Fig. 50), welches an der Oberfläche der ganzen Zelle grobbalkig wird (in Fig. 49 ist dieser Anteil allein gefärbt geblieben). Im Umkreis der Zelle gehen dann weit verzweigte Gliafasern oder Bündel von solchen hervor, die die ganze zentrale Fasermasse als einzelne Züge durchweben, und nur stellenweise maschig geformte Gliascheiden um ihre Nervenfasern bilden. Sie scheinen mir mit der vom Konnektiv her einstrahlenden Glia zusammenzuhängen. Aus den Gliafasern jener Fasermasse entstehen an ihrer ganzen Oberfläche wieder dickere Bündel, die bald ringförmig sich ordnen und nun die *Stielfortsätze und die Ganglienzellleiber* mit einem *netz-maschigen, zum Teil auch rein faserverkreuztem Gliagewebe*

Digitized by Google

umhüllen, welches APÁTHY als „innere Gliazone“ bezeichnet hat. Seiner *Form* und *allgemeinen Beziehung* wegen betrachte ich es als ein *Analogon zum stützenden GOLGInetz der Ganglienzellen einer grauen Substanz* der Wirbeltiere (Fig. 50). Während aber dort eine kolossal große Gliazelle viele Ganglienzellen umhüllt, sind es zum Unterschied hier mehrere kleinste Gliazellen, welche als Begleitzellen die GOLGInetze ihrer zugehörigen Ganglienzellen liefern (Figg. 18 u. 19). Hinzukommt als Unterschied, daß in den GOLGInetzen nur vereinzelte Gliafasern laufen; auch sonst wird die Substanz der GOLGInetze eine andere sein.

Die *Sternzellen der Ganglienzellenpakete* liefern nach APATHY eine *äußere Gliahülle* für die ihnen zugehörige Anzahl von Ganglienzellen. Sie haben nach ihm eine Anzahl von „Radiärfortsätzen“, welche „aus einem Bündel von größtenteils sehr feinen und einigen etwas stärkeren Gliafibrillen“ bestehen. Nur die stärkeren und auf meinen Präparaten dunkel gefärbten Fasern, die im Innern der Sternzelle weitmaschig und spärlich zusammenhängen, möchte ich mit den Gliafaserungen bei Wirbeltieren vergleichen; die übrigen erscheinen mir zu weich dafür. Sie sind außerdem dicht mit *Körnchen* besetzt, welche an der frisch untersuchten Zelle als *glänzende Tröpfchen* hervortreten. Sie scheinen mir weniger die Ganglienzellen zu stützen als zu ernähren geeignet zu sein.

Nun hat HOLMGREEN über die Natur der radiären Sternzellen einige Deutungen gemacht, welche sie als nervöse Zellen und als „große Assoziationszellen“ der Ganglienzellen hinstellen, Angaben, die ich an dieser Stelle nicht unwidersprochen lassen kann. Die HOLMGREENschen Beobachtungen selber weichen von denjenigen APÁTHYS ebenso wie die meinigen nicht wesentlich ab. Meine Zeichnungen unterscheiden sich von denjenigen in der HOLMGREENschen Arbeit in der Hauptsache nur dadurch, daß die Fasern und Balken des Glianetzes besonders im intrazellulären Abschnitt ihrer Zellen mehr gleichmäßiger, fester und starrer erscheinen. Besonders in den Figg. 69 und 73, schon weniger in Fig. 70 der HOLMGREENschen Abhandlung sind diese Fasern mehr wellenförmig verlaufend und bald dick und bald dünner in der Masse und auch mehr überkreuzt zu sehen, was vielleicht nur Art des Zeichnens sein wird (siehe hierzu meine Zeichnungen Figg. 47—50).

Das Gitterwerk der medianen Sternzellen und seine Fortsetzung auf die Oberfläche der Ganglienzellen hält nun HOLMGREEN

für nervös und für identisch mit den Golgimetzen der Wirbeltiere, wobei er sich auf die früher von mir, Semi Meyer und Bethe vertretene Meinung stützt, daß diese perizellulären Golgimetze nervöse Terminalnetze bedeuten. Ich selber halte nun heute die Golgimetze als solche nicht mehr für nervöse Netze, wie ich vor kurzem und in dieser Abhandlung weiter nachgewiesen habe.

Holmgreen hält sogar auch das *Fasergitter in den Apáthy-schen Konnektivspindeln* für wahrscheinlich identisch mit demjenigen an der Oberfläche der unipolaren Ganglienzellen und jener medianen Sternzellen, die er als „multipolare Nervenzellen" bezeichnet, während er nur die Leydigschen Zellen (Seitenkerne von Apáthy), die ich hier als weitere Gliazellen unberücksichtigt lassen will, und die Sternzellen der Ganglienzellenpakete für große Gliazellen halten will.

Gegen Holmgreen führe ich nun aus, daß die *Art der oberflächlichen Ausbreitung jenes anfänglich intrazellulär in den betreffenden Riesenzellen beginnenden Gitterwerkes auch für seine Auffassung und Natur entscheidend* sein muß. Da dieses Gitter *oberflächliche Scheiden um die Nerven eines Konnektivs* ausbildet und trennende Faserbündel oder stellenweise auch mehr gitterförmige Hüllen zwischen und um die Nerven der *zentralen Fasermasse* aussendet und endlich auch die *Stielfortsätze jener Ganglienzellen* und sie selber mit einem Netz von Fasern einfaßt, so ist das alles ein *Zeichen einer äußerlichen Stützhülle* und einer trennenden und zusammenhaltenden *Scheidewand*, nicht aber einer nervösen Einrichtung, wenn nicht ganz besondere Gründe vorliegen.

Der vergleichende Grund aus den Golgimetzen fällt also jetzt weg, da dieselben im ersten Sinne Golgis von Apáthy und von mir als ein Stützwerk bezeichnet werden, wofür ich meinerseits die obigen Beobachtungen an den Bildungszellen der Golgimetze, den gliösen Begleitzellen, hier hervorhebe. Die Berufung Holmgreens auf die Resultate einer vitalen Methylenblaufärbung kann ich nicht gelten lassen, da diese Methode alles mögliche, auch vieles nicht Nervöse unter Umständen färbt, und ich außerdem ohne weiteres die Simonschen Beschreibungen und Abbildungen[70]) für nicht identisch mit den hier diskutierten Gitterbildungen halten kann.

Es bleibt ein Grund übrig, der mir seit langem zu schaffen gemacht hat, und der mir vor den diesbezüglichen Arbeiten und

Ansichten HOLMGREENS bekannt war. Es handelt sich um das *radiäre Eindringen* von *faserigen Anteilen jener inneren Gliazone in das Protoplasma der von ihr umhüllten Ganglienzelle*, welches nach APÁTHY an der Entstehung einer äußeren Alveolarzone des Ganglienzellleibes selber beteiligt ist. HOLMGREEN gibt an, daß von jenem Oberflächennetz „intrazelluläre und in radiärer Richtung verlaufende Fasern" *sehr wahrscheinlich* mit einem tieferen und perinucleären Faserring zusammenhängen, welcher nach APÁTHY ein Teil des endozellulären Neurofibrillengitters („Perinuclear-gitter") im Typus K der Ganglienzellen bildet. Die *Voraussetzung einer Kontinuität* zwischen jenem Oberflächennetz und diesem APATHYschen Perinucleargitter mit seiner ableitenden dickeren und axialen Primitivfibrille, die HOLMGREEN gleichzeitig mit jenem gefärbt bekommen hat, hat also für ihn einen Grund abgegeben, jenes Oberflächennetz nicht für gliös sondern für nervös zu schätzen und damit auch jene medianen Sternzellen für sehr wahrscheinlich als riesige Assoziationszellen anzusprechen. Im übrigen hat HOLMGREEN, wie er angibt, nicht ganz sicher jene fragliche Verbindung sehen können; auch seine Abbildung (Fig. 71) zeigt keine Kontinuität.

Ich selber habe nun bereits 1896 derartige Präparate von Hirudo gehabt und zufälligerweise auch mit der gleichen Methode (Fixierung in Alkohol-Chloroform-Eisessig-Eisenhämatoxylin nach M. HEIDENHAIN) erhalten, wie sie HOLMGREEN in seiner Arbeit von 1900 beschrieben und abgebildet hat. Merkwürdig ist nur, daß ich zu einer entgegengesetzten Auffassung kam. Da ich auf meinen früheren Schnittfärbungen eine umfassende Färbung von der Glia des Blutegels und ihrem ausgiebigen Eindringen in die Ganglienzellen erhielt und außerdem eine Anzahl von Fibrillen im Innern von Ganglienzellen und Nervenfasern gleichzeitig gefärbt bekam, die den Abbildungen APÁTHYS entsprachen und mir direkt und unverändert mit einander zusammenzuhängen schienen, so hielt ich mich damals für berechtigt, APÁTHY eine grobe Verwechslung seiner Neurofibrillen mit Gliafasern vorzuwerfen. Dieser Zusammenhang scheint mir nun heute *nicht mehr so einfach* zu sein, weil ich jetzt auf etwas anders gefärbten und differenzierten Präparaten die *Gliazone entfärbt* erhalte, jene *Neurofibrillen dagegen noch gefärbt* sehe. Nur auf Präparaten mit gleichzeitiger Färbung beider Anteile finde ich noch jetzt die Schwierigkeit, beide zu

Digitized by Google

unterscheiden. Da ich aber andererseits heute nicht absolut sicher angeben kann, daß beide Teile in einander wirklich übergehen, so habe ich kein Recht mehr jenen Vorwurf länger aufrecht zu erhalten, weshalb ich ihn zurücknehme. Ich kann nur noch von der Möglichkeit eines Zusammenhangs sprechen, der aber von einer Änderung der Substanz begleitet wäre; wobei noch zu berücksichtigen bleibt, daß nach Apáthy ein Teil jener Riesenzellen nicht nur im erwachsenen Zustand einige wirkliche und sie durchsetzende Neurofibrillen außer ihren Gliafasern enthält, sondern überhaupt die Bildung von Neurofibrillen besorgt hat. Ich hoffe in einiger Zeit hierauf nochmals näher eingehen zu können und genauer meine Gründe für eine Entscheidung dieser Dinge zu entwickeln, die für die Auffassung der Nervenleitung wesentlich erscheinen.

Wenn ich nun nochmals auf das Analoge zwischen jenem gliösen Oberflächennetz an der Ganglienzelle eines wirbellosen Tieres mit dem Golginetz um die betreffende Zelle der grauen Substanz zurückkomme, so geschieht es, weil nach Apáthy die Ganglienzellen des Rückenmarkes der Wirbeltiere „keine der inneren Gliazone bei Hirudineen entsprechende Gliazone besitzen, sondern bloß vom mehr oder weniger dichtem interstitialen Gliageflecht umgeben werden."

Ich bemerke hierzu, daß sich mein Vergleich auf die *Netzform der betreffenden Hülle* stützt, die also bei der Wirbeltierganglienzelle von besonderen Begleitzellen als Teile des allgemeinen und interstitiellen Gliagewebes nur gebildet werden. Im übrigen ist natürlich die Masse und innere Form eine andere, die ja bei Hirudo eine mehr grob- und derbfaserige ist und insofern als weiter differenziertes Protoplasmaprodukt jener medianen Sternzellen erscheint. Daß aber auch die Substanz der Golginetze eine besondere Bildung jener Gliazellen ist, dürfte aus dem 4. Kapitel dieser Abhandlung außer meinen früheren Angaben hervorgehen. Im übrigen beteiligen sich auch diese Zellen bei ihrer allseitigen Netzbildung an der Bildung benachbarter Anteile des allgemeinen Gliareticulums der Nervenfasern u. s. w., wodurch sie wiederum im kleinen jenen medianen Sternzellen gleichen, nur daß diese mit viel weiter verzweigten und besonders groben, derbfaserigen Protoplasmaprodukten, die Gliabalken der zentralen Fasermasse liefern.

Was dagegen jene BETHEschen Angaben anbetrifft, wonach die GOLGImetze mit inneren Fibrillen der Ganglienzelle zusammenhängen, so habe ich bisher keine sichere Entscheidung erhalten können, ob hier Verhältnisse vorliegen können, wie sie bei Hirudo vorkommen und einen für ihre dortige Bedeutung noch strittigen Punkt enthalten. Jedenfalls kann ich nach den Gründen, welche ich für eine gliöse Natur der GOLGImetze vorgebracht habe, nicht der von BETHE entwickelten Lehre zustimmen, wonach die GOLGInetze als mit *Neuritenzweigen direkt zusammenhängende Bildungen* auch die *Kontinuität der Neurofibrillen bei Wirbeltieren* vermitteln.

6. Formation der Neuroglia und ihre Bedeutung.

Unter der Formation der Neuroglia verstehe ich die *allgemeine und gegenseitige Beziehung der Neurogliazellen zu einander.* Wodurch die Frage entsteht, ob die *Ausläufer der Neurogliazellen,* mögen sie nun faserhaltig oder faserarm sein oder auch nur aus nackten und stellenweise protoplasmaunbedeckten Gliafasern allein bestehen, unter *einander zusammenhängen* oder nur sich gegenseitig *überkreuzen.*

Es ist bemerkenswert, daß sich die Ansichten hierüber in kurzer Zeit vollständig in ihr Gegenteil geändert haben. Von V. KÖLLIKER ist früher eine allgemein netzige Verbindung der Gliazellen behauptet worden und (Handbuch der Gewebelehre 1867, S. 266) als ein allgemeines Reticulum des zentralen Nervensystems bezeichnet worden, das wie ein zartes Skelett die ganze weiße und graue Substanz durchzieht. Während sich u. a. FROMMAN und GIERKE dieser Meinung gefügt haben, ist von DEITERS[73]) und GOLGI und dann später von RANVIER und WEIGERT jedes Anastomosieren von Gliazellen bestritten worden, wodurch dann die Lehre vom *Neurogliafilz* herrschend geworden ist, wozu ich wiederum auf die Darstellung verweise, die V. KÖLLIKER in der 6. Auflage seiner Gewebelehre (1896) S. 151 von der Einfügung der Nervenfasern der weißen Substanz, z. B. in trügerischen Maschen des Glianetzes gegeben hat. Auch ERIK MÜLLER gibt im Sinne von DEITERS und GOLGI an, daß bei den niederen Vertebraten die Ausläufer von Neurogliazellen diejenigen der anderen nur überkreuzen oder auch am Zellleib fremder Gliazellen in firstenartigen Erhebungen und Rinnen derselben sich anlegen.

Bei der Untersuchung der Formation des Gliagewebes wird *zweierlei* zunächst zu trennen sein, die *faserige Glia* und die übrige, auf ihre *Fortsätze verteilte Protoplasmamenge der Neurogliazellen.*

Darin stimme ich Weigert bei, daß die Gliafasern „mehr oder weniger gerade" sind oder in „starr geschwungenen Biegungen verlaufen", daß sie ferner solide sind und „ganz glatt" in frisch fixierten Präparaten. Das kommt auch auf gewissen Golgipräparaten nach meiner Meinung dadurch zum Ausdruck, daß, wie Fig. 20c bei einem Langstrahler zeigt, durchweg die sogenannten Ausläufer glatt imprägniert sind. Ich erkläre diese Form daraus, daß die *Imprägnation vom Zellleib auf die „Manschette der Faser"* (Ranvier) und dann auf die *Gliafasern allein* übergegangen ist, woraus sich zugleich bei der Länge der Gliafasern überhaupt der *Typus von Langstrahlen* erklären würde. Daß sich unter Umständen auch einmal die *Gliafasern einer Zelle allein imprägnieren* können, hat Andriezen gezeigt. Dann kenne ich eine Form von Imprägnation, die an demselben Typus einer Gliazelle *moosige und rauhe Fortsatzflächen* zeigt (Fig. 20b). Hier hat die Imprägnation nach meiner Meinung *zugleich* auch etwas von der *unvollständigen protoplasmatischen Hülle der Gliafasern* sichtbar gemacht, da ich an meinen *gefärbten Präparaten gleiche Rauhigkeiten* in der Protoplasmafarbe des Zellleibes als angesetzte Ecken der schwarz tingierten Gliafasern sehe. Die bekannte Imprägnationsweise, daß die Gliazellen embryonaler oder jugendlicher Gehirne bei der Golgimethode häufiger rauh imprägniert werden, die erwachsenen und älteren Individuen dagegen mehr glatt, dürfte also vielleicht auf die *Zunahme der Gliafasern einer Zelle*, sowie der Reduktion des zunächst breiteren Protoplasmanetzes und einem leichteren Überspringen der Reaktion vom Zellleib auf die gleichmäßigere

Fig. 20b.

Masse der Gliafasern zurückzuführen sein. Was endlich die Frage nach den *Teilungen von Gliafasern* anbetrifft, so stimme ich wiederum WEIGERT zu, der eigentliche Teilungen nicht gesehen hat. Wozu ich andererseits bemerke, daß *scheinbar einheitliche Fasern aus feineren und eng gepreßten Einzelfasern* bestehen können, die dann an gewissen Stellen (ich erinnere nur an die Form strahliger Gliafüße) eine *Aufbündelung in divergierende Fäserchen* zeigen. Die WEIGERTsche Erklärung von Teilungsstellen der Gliazellfortsätze auf Silberpräparaten („daß — zwei sehr nahe an einander liegende Faserteile zu einer gemeinschaftlichen Silhouette verschmelzen, etwa wie RANVIER es annahm durch Mitfärbung einer verkittenden

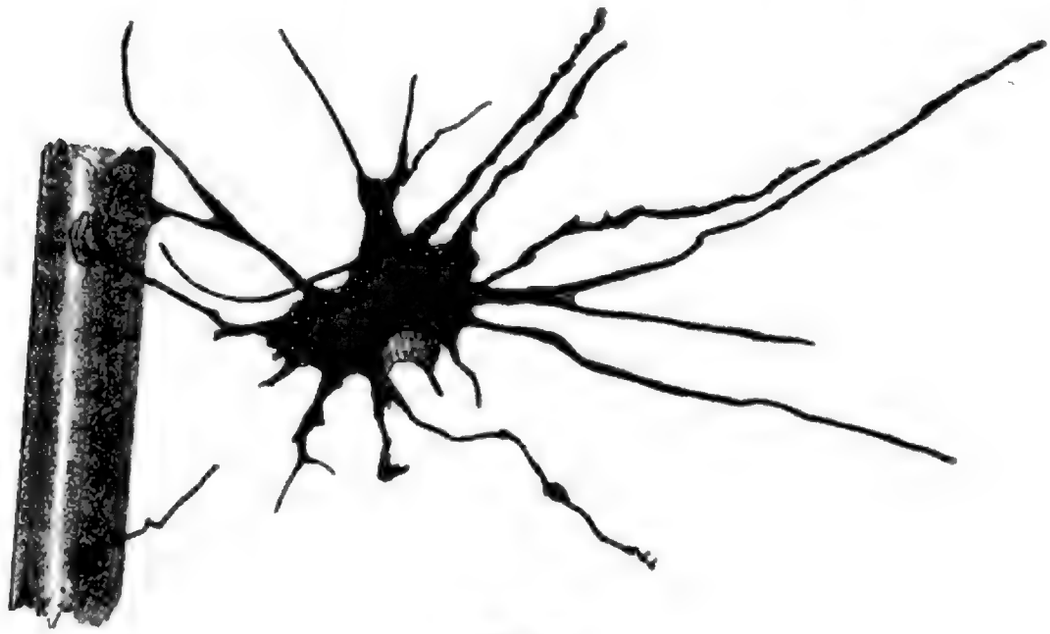


Fig. 206.

Substanz") halte ich nur insofern für richtig, als jene Kittsubstanz eine *beide Fasern einschließende Protoplasmahülle* ist, wie ich sie an meinen Präparaten häufiger sehe, ganz abgesehen davon, daß sich teilende, faserfreie Protoplasmafortsätze an Gliazellen vorkommen (siehe hierzu Fig. 5a).

Dazu ist noch etwas für die Gliafaserung Wichtiges hervorzuheben, was bisher unbekannt geblieben und erst vor kurzem von HARDESTY angegeben und auch von mir wiederholt beobachtet worden ist, daß nämlich viele *Gliafasern von einer Zelle in die andere reichen.* Es wäre dies also eine *Anastomose zweier Gliazellen durch eine beiden gemeinsame Gliafaser.* Bei der oben von mir angegebenen Entstehungsweise der Gliafasern in protoplasmatischen

Anastomosen embryonaler Gliazellen ist dies nichts Wunderbares. Mit Sicherheit wird natürlich eine *plurizelluläre Gliafaser* nur dann als solche angesehen werden dürfen, wenn dieselbe so getroffen ist, daß sie in *beiden Zellen* einen vom Protoplasma umgebenen optischen Querschnitt anzulegen erlaubt.

Daß es außerdem eine ganze Anzahl von Gliafasern gibt, die sich nur kreuzen und auch fremden Gliazellleibern nur angelehnt sind, ist etwas, was ich damit nicht bestreite. Ich unterscheide also durchaus an der *reifen* Glia *eigene und fremde* (angelehnte) *Gliafasern*, was aber nur eine Schnittunterscheidung ist.

Nun gibt es aber an der relativ reifen und ausgebildeten Glia (insofern ihre Faserhaltigkeit beim Menschen noch fortwährend mit dem Alter zunimmt, wird dieselbe immer nur relativ fertig genannt werden dürfen) außer jenen Fasern noch Teile, um die man bei der Definition der Gliaformation nicht herum kann. Ich meine weniger hierbei die allgemeine Vereinigung der Gliazellen durch ihre Ausläufer und Gliafüße in der Grenzhaut der Glia, sondern jene *netzige Zwischenmasse*, welche aus den fortsatzartigen oder mehr flächenhaften *Protoplasmaausbreitungen der Gliazellen hervorgeht und zu einem Teil die Gliafasern resp. nur Abschnitte derselben maschig zusammenschließt.* Für die *marginale Glia, die subependymäre Region* und endlich für jene *Begleit- oder Hüllzellen der Nervenzellen* kann ich das mit Bestimmtheit behaupten.

Damit spreche ich ein Resultat aus, zu welchem vor kurzem J. Hardesty in der erwähnten Arbeit gelangt ist, indem er die Glia als ein *Syncytium* von ektodermaler Natur bezeichnete. Ich füge hinzu, daß ich unabhängig hiervon auf Grund der angegebenen Beobachtungen jener Regionen der Neuroglia dieselbe Vorstellung mir gebildet habe. Für die übrige noch sehr beträchtliche Masse der diffusen Glia kann ich Formationsangaben dagegen bisher nicht machen. Ich verweise aber für die *Auffassung der Neuroglia überhaupt als eines syncytialen Gewebes* auf das, was ich oben über ihre *Entwickelung* angegeben.

Hardesty operiert für seine Gliadefinition mit *der inneren Form* des *His*schen *„Randschleiers"*, indem bekanntlich eine *Abgrenzung einzelner Ependymzellenanteile* nicht mehr möglich und vorhanden ist. Auch mir ist dieser Begriff infolge meiner Untersuchung der marginalen Neuroglia geläufig geworden.

Digitized by Google

Zu dieser im *Randschleier ausgeprägten syncytialen Form der ependymären Glia* kommt hinzu, daß, wie meine obigen Beobachtungen zeigen, auch die *sekundäre zellige Neuroglia* sich von vorneherein infolge zahlreicher in ihrem Gewebe sich abspielender mitotischer Prozesse aus einem durch *Zellfortsätze im Zusammenhang bleibenden Zellmaterial* aufbaut (Fig. 28a).

Auf dieser einfachen Stufe bleibt nun allerdings die sekundäre zellige Neuroglia nicht stehen. Wie Fig. 28b am Opticus einer neugeborenen Maus demonstriert, sind die Gliazellen *fortsatzreicher* geworden, wobei sie zum Teil nicht mehr anastomosieren, sondern *freie Überkreuzungen* ihrer neuen Fortsätze zeigen, eine Formation, die später bei Schnittbetrachtung noch beträchtlich zuzunehmen scheint (Fig. 28c). Auch in der weißen Substanz des Rückenmarks finde ich Gleiches. In wie weit solche Überkreuzungen auf dieser Entwickelungshöhe in ihrer Zahl noch zu reduzieren sind, da es sich um eine *Durchschneidung gedehnter Anastomosen entfernterer Zellen handeln kann*, vermag ich nicht anzugeben.

Die mitotische Vermehrung der sekundären zelligen Glia aus sich selber wird weiter einige Eigentümlichkeiten der erwachsenen Stützsubstanz der zentralen Substanz erklären können. Hierzu gehören 1) die *Mehrkernigkeit von Gliazellen* (s. Figg. 5b, 9, 18), 2) *breite hautartige Brücken benachbarter Zellen* (Figg. 6, 7), 3) *dünnere* und seltener zu beobachtende *Anastomosen*, die teils rein protoplasmatisch, teils faserhaltig sein können (Figg. 5b, c), 4) jene schon erwähnten *plurizellulären Neurogliafaern*.

Vergleiche ich endlich das Anfangsstadium der sekundären zellig-faserigen Glia, jenes *Stadium*, auf dem *Gliafasern schon als dunkel färbbare, homogene und intrazelluläre Fadenbildungen* in den Fortsätzen wie am Rand des Zellleibes oder auch in seiner Tiefe darzustellen sind, mit dem *erwachsenen Gewebe*, so ist keine Frage, daß eine *protoplasmatische Reduktion* insofern eingetreten ist, als eine feine und kontinuierliche Hülle für die Fasern überall nicht mehr zu beobachten ist. Bei der *hypertrophischen Glia* scheint dagegen wiederum eine *größere Protoplasmavermehrung* einzutreten und umfangreicher jene Gliafasern wieder einzuschließen, was ich in Fig. 13 aus der weißen Rückenmarkssubstanz eines Mannes abbilde, bei dem auch sonst die Gliafasern vermehrt, das Ependym gewuchert und vielfach in der grauen Substanz verteilte Monstregliazellen mit oberflächlich differenzierter Zellplatte und dicken

Digitized by Google

Gliafaserbildungen, sowie eine beträchtlich verdickte oberflächliche Rindenschicht zu sehen waren.

Ich führe hierzu die Bemerkung Storchs[73]) an, daß bei „Abnahme der Lebensenergie innerhalb der nervösen Bestandteile der spärliche Anteil von Protoplasma" um die Gliakerne sich vermehrt und „schwimmhautartig" die Fasern „vielleicht bis zu ihren Endigungen überzieht".

Die für die Definition des Neurogliagewebes wesentlichen Dinge fasse ich nun dahin zusammen, daß 1) *die embryonalen Gliazellen intrazellulär die Gliafasern bilden* und daß 2) *die Gliafasern später wohl aus dem manschettenartigen Protoplasma des Zellleibes oder seines Fortsatzes frei heraustreten können, aber auch wieder in dasjenige eines anderen Fortsatzes und Zellleibes eintreten*, wobei sie im Zwischenstück ihres Verlaufes *reine Überkreuzungen* geben können. *Eine Interzellularsubstanz, die zellunabhängig geworden, ist somit die Gliafaserung keineswegs.* Infolge jener netzig geordneten feinsten und modifizierten Verzweigungen des Gliazellenprotoplasmas, die aber mit jenen früheren und gröberen Vorstellungen eines Reticulum nicht verwechselt werden dürfen, die z. B. die einzelnen Nervenfasern der weißen Substanz schon mit echten Maschen umschlossen sein ließen, sind die Protoplasmafortsätze der Gliazellen *nicht einfach verfilzt*, sondern in der Form eines *sehr fein verästelten und netzigen Gewebes* arrangiert. *Was also die Gliazellen syncytial vereinigt*, sind *teils jene mehr protoplasmatischen Anteile*, die in feinster Aufzweigung die *Anteile jenes Bethe*schen *Füllnetzes oder meines Gliareticulum* enthalten, teils jene *Gliafasern*, insofern sie teils nackt, teils wieder von Protoplasma umhüllt überall in die *Zellen und ihre Fortsätze eintauchen. Hinzu kommt die besondere und letzte Vereinigung von faserhaltigen und faserlosen Gliafüßen* zur *Membrana limitans Gliae superficialis et perivascularis*, in welcher durch *Kittlinien eine Vereinigung der hautartigen Fußflächen jener letzten Gliaansätze erfolgt.*

Die *Bedeutung der Neuroglia* liegt, wie allgemein und mit Recht angenommen worden ist, zunächst darin, eine *durchgreifende Stützsubstanz des Zentralnervensystems*, ein besonderes „Bindegewebe" für Nervenzellen und Nervenfasern zu geben. Zu dieser begründeten Ansicht hat R. y Cajal[74]) eine unzureichende hinzugefügt, welche besagt, daß die *Neuroglia kontraktil* sei und mit ihren *wechselnden Stadien einer Erschlaffung oder Ausdehnung* ungleiche Bedingungen

Digitized by Google

für die nervösen Kontaktverhältnisse gebe, da die Neuroglia sich überall als stromisolierende Masse zwischen die freien Endbäume einschiebe und somit auseinanderziehen müsse. Hinzu komme bei dem Stadium ihrer Kontraktion eine Gefäßerweiterung, welche durch jene am Gefäßrohr angreifenden Gliaansätze die Weite seiner Lichtung bestimme. Zu den ausführlichen Gründen, welche WEIGERT in seiner Neurogliaarbeit (1895)*) und v. KÖLLIKER (Handbuch d. Gewebelehre 1896 II) entwickelt haben, füge ich hier nur hinzu, daß die erwähnte Hypothese auch damit fällt, daß jene Behauptung freier Kontakte, die sich nähern oder entfernen ließen, immer noch eine unbewiesene Annahme ist, die auf einseitig verwerteten Resultaten der GOLGIschen und EHRLICHschen Färbungsmethoden beruht und außerdem bereits eine Summe besonderer Angaben und Gründe gegen sich hat, die in jener Gegenschrift R. Y CAJALS nicht berücksichtigt worden sind.

Es bleibt also bei der Definition, daß die *Neuroglia* eine *stützende Zwischensubstanz für die Nervenzellen und ihre Ausläufer* bedeutet, welche besonders durch die *später erfolgende Faserhaltigkeit* geeignet ist, zunächst das *Eigengewicht der Nervenzellen und ihrer Fortsätze, sowie dasjenige der Gefäße zu tragen.* Es ist das Verdienst WEIGERTS, mit seiner Methode die *Anordnungen der Gliafasern zu architektonischen Geflechtsformen* an der äußeren und inneren Oberfläche des Zentralnervensystems nachgewiesen und erkannt zu haben. Von WEIGERT ist diese Eigenschaft der Glia auch dahin besonders noch gefaßt worden, daß sie eine *raumausfüllende Aufgabe* haben, die zur *Wucherung der Glia* führe, wo *nervöse Substanz zu Grunde* gegangen sei. Es mag hier unerörtert bleiben, ob diese Wucherungsfähigkeit und die Wachstumsgröße der Glia überhaupt erst sekundär eintritt, wenn schon die Nervenzellen lädiert, oder ob auch eine direkte primäre Veränderung und Steigerung jener Energie zu einer Erstickung der nervösen Substanz führt. Jedenfalls wird diese Natur der Neuroglia in ihrer *syncytialen Zusammensetzung aus außerordentlich zahlreichen Kernzentren* mit ihrem *Reichtum an protoplasmatischen Anteilen* und ihrer *Eigenschaft zu ausgedehnten Faserbildungen* sowie in ihrer eigentümlichen und *flächenhaften Beziehung zu den Gefäßwegen des Zentralnervensystems durch ihre Gliafüße* gesucht werden müssen.

*) Die Gegengründe R. Y CAJALS sind in: Algo sobre la signification fisiologica de la Neuroglia. Rev. trimestral micrograph. II. 1. 1897.

Digitized by Google

Jene Entdeckung Golgis von den *Ansätzen der Gliazellen an den Gehirngefäßen* halte ich somit für eine der wichtigsten in der Lehre von den feineren Einrichtungen im Bau des Gehirns, insofern sie die Möglichkeit gab, die Ernährungswege der Nervenzellen überhaupt einem Verständnis zu erschließen. Sie hat ihn bekanntlich zu der Lehre geführt, daß die *Protoplasmafortsätze der Nervenzellen* zum Unterschied von ihren Neuriten *nur nutritive Funktionen* haben, da sie sich ebenfalls mit Gliazellfortsätzen „verbinden". Man sieht, daß in diesen Sätzen Golgis bereits die Lehre von Bevan Lewis enthalten ist, welche von einem durch die Glia gebildeten Lymphkonnektivsystem spricht, nur daß Golgi kritischer war und jene „perizellulären Lymphräume" Obersteiners für Retraktionslücken erklärte, während sie bei Bevan Lewis (siehe hierzu Tafel V seines Textbuches) eine große Rolle spielen. Daß im übrigen aber die Lehre Golgis von der alleinigen nutritiven Funktion der Dendriten nicht richtig ist, dürfte wohl allgemeiner entschieden worden sein. Präzisiert man aber jene Behauptung Golgis von einer Verbindung der Gliazelle mit jenen Protoplasmafortsätzen dahin, daß außer anderem jene gliösen Begleitzellen der Nervenzellen (s. oben und hierzu Figg. 18 u. 19) z. B. die perivasculären Räume vorbeistreichender Kapillaren begrenzen und andererseits das Protoplasma von Nervenzellen in Leib und Dendriten netzig einfassen, so erscheinen allgemein diese lokalen Abschnitte der Glia als Bindeglieder zwischen dem Gefäßweg und dem nervösen Protoplasma. Dazu kommt, daß, wie Holmgreen gezeigt, das Protoplasma zentraler, also von Glia begrenzter Nervenzellen nicht nur oberflächlich eingefaßt, sondern auch inwendig von einem „Trophospongium" durchsetzt und zerklüftet wird. Also nicht die *Protoplasmafortsätze der Nervenzellen haben als solche eine nutritive Bedeutung für den übrigen Teil der Nervenzelle, sondern es erscheint die Glia, die mit ihrer marginalen Fläche die lymphatischen Räume bestimmt* und auch *andererseits die freien Flächen des Nervenzellprotoplasmas* erreicht, als besondere Ernährerin der nervösen Substanz, die sie zu gleicher Zeit mit ihrem Maschenwerk auch stützt. Für diese erste Funktion der Glia führe ich noch an die Untersuchungen von Wlassak[75]) welche der primären und sekundären Glia auch die Bedeutung eines aufspeichernden „Übertragungsapparates" der für die Markumhüllung wichtigen Stoffe aus dem Blut zuschreiben, und die Beobachtungen von

Digitized by Google

NISSL[76]), der den Gliazellen außer ihrer Funktion, den Stoffumsatz in der nervösen Substanz zu besorgen, auch phagocytäre Eigenschaften zuschreibt, wie sie sonst dem Körper der Leucocyten eigen ist, die aber nach ihm in die eigentliche Masse der Großhirnrinde nie eindringen sollen. Die letztere Angabe NISSLS ist mir außerordentlich wertvoll, weil ich erstens selber nie deutliche und sichere Leucocyten in Gehirn und Rückenmark innerhalb ihrer Grenzhaut gesehen habe und deshalb mit NISSL meine, daß jene verschiedenen Angaben wohl auf Verwechselung mit Gliazellen beruhen werden (s. hierzu die Kritik NISSLS über das KRONTHALsche Buch von der Nervenzelle im Zentralbl. f. Nervenheilh. u. Psychiatrie 1902). Außerdem meine ich zweitens, daß erst jene *Grenzhaut der Glia eine Sperre* für die Leucocyten zu der nervösen zentralen Substanz bedeuten kann, und so jene eigentümliche Tatsache eine Erklärung finden würde.

Einige Bemerkungen über die *Neuroglia des Sehnerven* und der *Retina* füge ich hier an. Ihrer Entwickelung entsprechend zeigt die Retina in den *MÜLLERschen Zellen Faserbildungen*, die von der *inneren zur äußeren Grenzhaut durchreichen und sie stützen* müssen. Das innere Ende dieser starken und aus mehreren feinsten Fäserchen zusammengesetzten Stäbe zeigt Fig. 44 vom Meerschwein. Die Membrana limitans Retinae interna mit ihrer Felderzeichnung entspricht durchaus auch nach meiner Meinung den Fußflächen der faserhaltigen Stützzellen und ist ein Analogon zu den Gliahäuten des Gehirns, ebenso wie die MÜLLERschen Stützzellen den faserhaltigen Gliazellen des Gehirns an die Seite zu stellen sind. Der M. lim. Ret. externa zu finde ich die Fasern sehr fein und schließlich in deutlicherer Ringstellung zu den Zapfen und Stäbchenelementen der äußeren Körnerschicht; sie scheinen mir an der Lim. externa aufzuhören, die sie mit einer Anzahl feiner und kleiner Füße aufbauen. Im übrigen finde ich auch an den *Gefäßen der Retina* eine *feine, ihre perivasculären Räume begrenzende Haut*, wie sie für die Hirnkapillaren charakteristisch ist. Für den *N. opticus* füge ich hinzu, daß seine *Nervenbündel gegenüber dem durchsetzenden Bindegewebe* genau so durch eine *Rinden- und Grenzschicht mit Grenzhaut* abgeschlossen sind, wie es im Rückenmark in der weißen Substanz z. B. der Fall ist.

Von LLOYD ANDRIEZEN ist die circumvasculäre Gliahülle als ein Schutz des Hirnparenchyms gegen die Pulsationen seiner

Gefäße bezeichnet worden, die zugleich infolge ihrer nur verfilzten Natur der Saftbewegung von und zu den Gefäßräumen freie Strömung gewähre. Von Storch ist hinzugefügt worden, daß für die Bewegungen der aus den Blutkapillaren diffundierten Lymphe innerhalb der Gliafaserzwischenräume die Gesetze der Kapillarität gelten müßten, und daß insbesondere vielleicht die Pulsation der Gefäße zu Strömungen der innerhalb des perivasculären Gliagerüstes verteilten Saftmenge führen und ihren weiteren Abfluß zu den subarachnoïdalen Lymphräumen begünstigen können. Von beiden ist aber hierbei übersehen worden, daß die sogenannten Zwischenräume der Glia nach außen zu nicht offen, sondern durch eine *Grenzhaut abgeschlossen* sind, welche den Bewegungen einer lymphatischen Flüssigkeit zum mindesten den *Widerstand einer Filtrationsfläche* aufdrückt. Insofern nun die Membr. lim. Gliae perivascularis als eine feine und zweite Röhre, die dazu von allen Seiten durch das Radiärsystem der marginalen Glia gestützt und gehalten wird, das Gefäßrohr mit seiner adventiellen und ebenfalls röhrenförmigen Hülle umzieht, werden also die Pulsationen der Gefäße im Bereich der muskelhaltigen Arterien *Saugbewegungen* in ihren *perivasculären Räumen* abgeben müssen, welche nicht ohne *einen Einfluß auf die Verteilung einer intramarginalen Flüssigkeit* bleiben kann. Insofern stimme ich also jenen Äußerungen von Andriezen und Storch zu.

Besonderen Untersuchungen muß es vorbehalten bleiben, den *Anteil der Glia für eine Saftbewegung in ihrem Protoplasma oder in ihren Maschen* noch näher festzustellen, sowie zu prüfen, in wie weit *besondere und gesonderte Längsströmungen in jenen extramarginalen Räumen*, dem Hisschen und dem Virchow-Robinschen, für den weiteren Abfluß einer lymphatischen Gehirnflüssigkeit nach außen dienen.

Digitized by Google

II. Die Wand der Lymphgefäße in Haut und Schleimhaut.

Daß ich ein so heterogenes Thema meinen Beobachtungen über den Bau der Neuroglia anhänge, hat seinen Grund in *allgemeinen Verhältnissen*, welche die *Wand der Lymphgefäße in Haut und Schleimhaut zum elastischen Gewebe* zeigen. Ob dies Einrichtungen sind, welche bestimmten morphologischen *Beziehungen der Neuroglia zu den extramarginalen Lymphwegen des Zentralnervensystems* an die Seite gestellt zu werden verdienen, werden meine folgenden Beobachtungen und Ausführungen zeigen. Eine Bemerkung WEIGERTS (l. c. S. 140) schicke ich denselben voraus: „Wie sich der Leser vielleicht erinnert, hatte GOLGI in dieser innigen und verwickelten Verbindung der Neuroglia mit den Gefäßen etwas so Merkwürdiges zu sehen geglaubt, daß er diesen Befund gegen RANVIERS Ansicht von der Fasernatur der 'Zellfortsätze' verwerten zu können meinte. Wir haben l. c. bereits darauf hingewiesen, daß die Verhältnisse der Neuroglia zu den Gefäßen garnicht inniger und komplizierter sind, als die der elastischen Fasern z. B., und wir haben schon daraus entnommen, daß der Einwand GOLGIS nicht berechtigt war. Dazu kommt aber, was wir l. c. nur erst vermuten konnten, daß die ganze Art der Neurogliaverdichtung um die Gefäße herum nichts ist, als eine Teilerscheinung der so verbreiteten 'Rindenschichtbildungen'."

Oben habe ich nachgewiesen, daß die sogenannte Rindenschicht der Neuroglia noch gar nicht den letzten Abschluß der äußeren wie inneren Gehirnoberfläche gibt, welche auch nicht direkt jene Blutgefäße, sondern erst ihre perivasculären lymphatischen Räume begrenzt. Der WEIGERTsche Vergleich zwischen der gliösen Rindenschicht des Zentralnervensystems und der elastischen Faserung der Wände der Blutgefäße hinkt also bereits. Will man überhaupt diese ganze Einrichtung mit solchen in peripheren Organen vergleichen, so wird man die Lymphwege derselben studieren müssen und danach suchen, ob etwa irgend eine ihre Wand begrenzende Gewebsart in ähnlicher Beziehung zu ihr steht, wie die Neuroglia zu den HISSchen Räumen. Dann wird man demonstrieren können, daß auch die Beziehungen des elastischen Gewebes

Digitized by Google

zu den Lymphgefäßen der Haut und Schleimhaut ebenfalls wie bei der Glia kompliziertere sind.

Auf in Sublimat-Eisessig fixierten Schnitten von Haut und Schleimhaut (Augenlid vom Menschen, Zunge vom Hund, Darm vom Menschen), die mit meiner auch für die Neurogliafaserung angewandten Hämatoxylinfärbung tingiert waren, fielen mir, noch bevor ich meine Beobachtungen über die gliöse Grenzhaut irgendwie abgeschlossen hatte, Anordnungen von bindegewebigen Zellen und Zellverbänden sowie von Fasern und Fasernetzen auf, welche zu diesen Zellen sowohl wie zu der dünnen Wand von Lymphgefäßen eigentümlich orientiert waren. In Fig. 51 (aus der Mucosa und Submucosa der Zunge vom Hund) und der Fig. 54 (aus der Hautseite des Augenlides vom Menschen) habe ich diese Beobachtungen abgebildet. Beide Abbildungen zeigen ohne weiteres, daß hier der Längsschnitt resp. der Querschnitt von Lymphgefäßen enthalten sind, deren Lichtung durch eine Reihe von Zellen mit vorspringenden Kernen endothelartig begrenzt sind. Der Lymphgefäßlängsschnitt zeigt außerdem eine fast geschlossene Klappe sowie die charakteristischen Erweiterungen des ganzen Rohres.

Zu der Gefäßwand sind nun dunkelgefärbte Fasern orientiert, welche *zu einem Teil* dicht unter seinem Endothel eine *quergetroffene oder auch längsgeschnittene Lage von Fasern*, zu einem andern Teil jedoch eine ungefähr *radiäre Anordnung* zeigen, indem sie sich allseitig aus dem Netz von Zellen und Fasern der Umgebung loslösen, welches in seinen Zwischenräumen entfärbte Bündel kollagener Fasern aufnimmt. Bei dem Lymphgefäß aus der Schleimhaut der Zunge kommt die Besonderheit hinzu, daß auch von den submucösen Enden der Zungenmuskulatur her resp. von den ihr anliegenden Zellen her eine reichliche Menge von Fasern diesem *Radiärsystem des Lymphgefäßes* beigefügt werden. Diesen entgegengesetzt ziehen Radiärfasern von den oberflächlichen Zonen der Tunica propria her zum Gefäß, Fasern also, die von den Zelllagern herkommen, die unmittelbar unter dem Epithel, seinen Zapfen und Tälern gelegen sind (Fig. 51 u. 54).

Es ist keine Frage, daß diese Fasern, welche die Lymphgefäße begleiten oder sie radiär erreichen, zum großen Teil *elastische Fasern* sind, also *Anteile des allgemeinen elastischen Netzes der Haut resp. der Schleimhaut*. Die Fig. 55—58 begründen dies; sie sind nach Präparaten gezeichnet, die nach der von Pranter[77])

Digitized by Google

angegebenen Vorschrift gefärbt waren, welche mir bei der Sublimat-Eisessigfixierung regelmäßigere Resultate gegeben hat wie die WEIGERTsche Originalmethode. Die Fig. 58 stammt von einem Schnitt, der außerdem noch mit einer alkohol-differenzierten alkoholischen Erythrosinlösung nachgefärbt war, um die Zellbeziehungen der elastischen Fasern zu beobachten, wie weiter unten gezeigt werden wird. Fig. 59 ist ebenfalls nach einer solchen Doppelfärbung gesehen worden.

Die Beziehungen des elastischen Gewebes zum Lymphgefäßsystem in Haut und Schleimhaut sind zuerst von HIS[78]) näher gewürdigt worden, insofern er in dem „reichlichen Vorhandensein elastischer Fasern" eine Einrichtung erkannt hat, „welche die Anfüllung der in bindegewebigen Häuten verlaufenden Lymphgefäßwurzeln wesentlich befördern muß", da ihre Fasern jene Gefäße bei Gewebsdehnungen „klaffend erhalten". Sonst hat HIS „keine bestimmtere anatomische Beziehung der elastischen Fasern zu den Lymphkanälen" gefunden, sondern nur eine Anzahl dem Gefäß längsfolgender Fasern gesehen, die sich aus dem übrigen Gewebe sondern und wieder in dasselbe zurücktreten. Sonst zeigt aber seine Fig. 6 auf Tafel XXIV eine Anzahl von radiärabstehenden Fußstücken, welche auch schon KÖLLIKER (1846) gesehen und als „spitze Ausläufer der Membran" der Lymphkapillare gedeutet hatte. Von GASKELL[79]) sind dann zuerst genauer die anatomischen Anordnungen des elastischen Gewebes zu den Lymphgefäßen an der oberen Wand vom Kehldeckel (Hund und Schaf) dargelegt worden.

Seine Abbildungen zeigen zum ersten Mal das elastische Radiärsystem der Lymphgefäße. Dann hat noch RIEDER[80]) in einer vorläufigen Mitteilung mit Hilfe der WEIGERTschen Elastinfärbung jene *allseitigen Verbindungen der elastischen Fasern der Haut* mit der Wand der Lymphgefäße beobachtet. Er gibt als wichtigen Unterschied von den der Umgebung zu mehr abgeschlossenen elastischen Strukturen der Blutgefäßwand an, daß die „Lymphgefäße mit den elastischen Fasern der Umgebung, ja selbst mit dem elastischen Gefüge der benachbarten Arterien und Venen zusammenhängen."

Meine angegebenen Abbildungen und Beschreibungen bestätigen also jene Beobachtungen von GASKELL und RIEDER. Ich erweitere sie hier noch für den Darmtractus des Menschen, wo ich auch

Digitized by Google

an den Lymphgefäßen der Subserosa, der Submucosa und des Muscularis solches Radiärsystem gefunden. Bei den subserösen Lymphgefäßen gehen solche elastische Fasern besonders von der Fläche der Längsmuskulatur aus, für diejenigen der Submucosa hebe ich hervor, daß das Radiärsystem durch außerordentliche grobe aber auf dünnen Längsschnitten vom Jejunum außerordentlichen sparsamen Balken elastischer Natur repräsentiert ist. Die durch die Muscularis mucosae endlich zur Mucosa hindurchtretenden Lymphkapillaren sind außerordentlich arm an elastischen Wandelementen; ich finde nur sehr zarte und wenige der Wand folgende Fäserchen. Auch das Radiärsystem ist geringfügig aber noch dort angedeutet zu erkennen, wo ganz vereinzelte und feinste Fäserchen sich von denjenigen der Muscularis mucosae loslösen. Ich erwähne endlich noch, daß das Radiärsystem der Lymphgefäße, sofern es nur deutlich und kräftig überhaupt entwickelt, eine vorzügliche Diagnose gewährt, völlig kollabierte Lymphgefäße zu erkennen. An den tiefen und intrastitiellen Lymphgefäßen innerhalb der Muskulatur der Zunge vom Hund habe ich z. B. derartige für die leichte Erkennung ihrer Wandung außerordentlich wichtige Beobachtungen machen können.

Zweierlei habe ich jetzt näher zu untersuchen, das *Insertionsverhältnis der radiären elastischen Fasern resp. der Ausläufer von Bindegewebszellen an der Lymphgefäßwand* und die *allgemeine Beziehung der elastischen Fasern überhaupt zu Bindegewebszellen.* Was das letztere anbetrifft, so fällt zunächst auf, daß die Anteile der elastischen Netze und insbesondere jene radiären Züge, wo sie aus einem anderen Verlauf in jene Richtung zu einem Lymphgefäß umbiegen, mit den Scheitelpunkten ihrer Kurven oder auch sonst der *Oberfläche von den Zellleibern der Bindegewebszellen und ihrer Fortsätze eng folgen.* Ob an solchen Stellen nur eine engste Anpressung vorhanden ist oder eine Verbindung durch eine irgendwie angeordnete verkittende Masse, die sie zusammenhält, habe ich bisher nicht sicher entscheiden können. Zum anderen Teil aber sind die elastischen Fasern, wie ich an jenen Hämatoxylinfärbungen oder jener Doppelfärbung sehe, mit bestimmten Bindegewebszellen dadurch *vereinigt*, daß eine der Zellmembran *an Feinheit gleichkommende Haut jene elastischen Fasern faßt*, wo sie einer Zellfläche anliegen oder die dünneren und auch mehr lamellenartigen Fortsätze zwischen den Bindegewebszellen erreichen.

Digitized by Google

In Fig. 60 habe ich diese *hautartige Vereinigung von elastischen Netzteilen mit einer zugehörigen Bindegewebszelle* aus der Mucosa der Hundezunge dargestellt. Fig. 59 zeigt dasselbe aus der Cutis des menschlichen Augenlides auch für jene Anastomosen der Bindegewebszellen. Ich füge hinzu, daß ich in letzterem Präparat auch vielfach solche Zellbeziehungen gesehen, wo die geringen Zwischenräume divergierender elastischer Fasern von einer Bindegewebszelle mit ihrem Protoplasma vollständig ausgefüllt sind, wodurch eine Art von radiärer Anfügung elastischer Fasern zu solchen Zellen bedingt wird. Endlich habe ich bei einem Teil von Bindegewebszellen eine deutliche und sichere *Einfügung von feineren und auch etwas dickeren elastischen Fasern in das Protoplasma eines Zellleibes oder eines Fortsatzes* gesehen (Fig. 59 vom Menschen). Es ist klar, daß differenzierte Färbungen der elastischen Fasernetze derartige Beziehungen zu Bindegewebszellen auslöschen, sodaß *in dieser Hinsicht die summarische Bezeichnung der elastischen Fasern* als einer *reinen Interzellularsubstanz* eine *nicht richtige Vorstellung* gibt. Wie groß der Anteil solcher intrazellulären Vereinigung von elastischen Faserteilen mit Bindegewebszellen ist, vermag ich bisher umfangreicher nicht zu entscheiden. Ich begnüge mich darauf hinzuweisen, daß REINKE[81]), SPULER[82]), FLEMMING[83]) und GARDNER[85]) insbesondere für das elastische Gewebe eine *intrazelluläre Entstehung* der kollagenen wie elastischen Fasern beobachtet haben. Wie schon DEUTSCHMANN sah auch GARDNER die Bildung elastischer Fasern aus Körnchenreihen, die im Zellleib oder in den mit einander verbundenen Ausläufern derselben sich ordneten und zu feinen Fäden verschmolzen, die wiederum mit einander sich zu dickeren Fasern vereinigen können. Hiernach sind also die elastischen Fasernetze intrazelluläre und plurizelluläre (syncytiale) Bildungen. Meine Beobachtungen lassen erkennen, daß auch im *erwachsenen Bindegewebe* eine totale Emanzipation der elastischen Fasern von solchen Zellen wenigstens zum Teil nicht vorhanden ist, sodaß man ebenfalls auch hier derartige Bindegewebszellen als Elastinzellen bezeichnen kann.

Die radiären Beziehungen des Bindegewebsnetzes von Zellen und Fasern zur Wand von Lymphgefäßen sind einmal solche von *gewöhnlichen Ausläufern*. Sie erscheinen auf meinen Doppelfärbungen als verschieden breite oder schmale und dann mehr hautartige *Brücken zwischen den benachbarten Bindegewebszellen und den Endo-*

Digitized by Google

thelzellen der Lymphgefäßwand selber. Sie sind dort, wo sie am Gefäß ansetzen, fußartig verdickt und gleichen somit in ihrer allgemeinen Form den Bildungen, die His früher im Froschlarvenschwanz „als zackige Ausläufer" der die Gefäßwand bildenden Zellkörper beschrieben hat, die er allerdings „nie mit sternförmigen Bindegewebszellen zusammenhängen" sah. Ihre Zahl ist verschieden groß, je nachdem die *elastischen Radiärfasern der Lymphgefäße* überwiegen. Die *elastischen Fasern* gehen in besonderer Weise in die Wand der Lymphgefäße über. Es sind nicht einfache Umbiegungen einer radiären Richtung in einen dem Gefäß folgenden Längsverlauf, wie mitunter auch zu sehen ist, sondern es handelt sich hierbei um *Fußbildungen,* die an stark entwickelten Stellen besonders auffallen und an jene Ansätze von Gliafasern erinnern, die ich oben an der Grenzhaut des Gehirns beschrieben habe. Figg. 52a, b und Fig. 58 zeigen dies bei stärkerer Vergrößerung; sie lassen erkennen, daß es *Aufsplitterungen elastischer Fasern in feinste Fibrillen oder Streifen* sind, welche *konisch oder auch trichterförmig* arrangiert sind und schließlich in jene unmittelbar dem Endothel angefügte elastische Faserschicht übergehen, welche als ein sehr feines elastisches Häutchen von enger Maschung jene Endothelzellen trägt. Die Größe dieser Ansätze variiert erheblich; mitunter sind es nur zwei bis vier feinste Fäserchen, die divergierend aus feineren elastischen Fasern hervorgehen; in jenen stärkeren elastischen Füßen, wie sie z. B. Fig. 58 unten zeigt, habe ich gegen 20 zählen können, die aber bald sehr fein und netzig sich verbinden. Es spricht diese Aufsplitterung durchaus für die von Gardner betonte Zusammensetzung dickerer elastischer Fasern aus feinsten Fibrillen. Der Beschreibung jener elastischen Füße an den Wandungen der Lymphgefäße füge ich noch hinzu, daß ihnen mitunter die protoplasmatische Ausbreitung einer Bindegewebszelle eingesetzt oder angefügt sein kann, die dann weiter mit den Endothelzellen verbunden erscheint. Überhaupt scheint mir die Vereinigung des Endothels mit der elastischen Unterhaut und jenen Füßen eine sehr enge zu sein, worauf ich aber hier nicht näher eingehen will.

Es ist klar, daß die *anatomische Einrichtung an den Lymphgefäßen der Haut- und Schleimhaut* es erklärt, warum die aus den Blutgefäßen transsudierte und unter höherem Druck stehende Flüssigkeit in die geschlossenen Lymphgefäße filtrieren muß, welche

Digitized by Google

ihr Radiärsystem öffnet. „Es wird sich daher", wie es HIS bezeichnet hat, „niemals darum handeln können, daß die elastischen Fasern dem Eindringen der Parenchymflüssigkeit in die Abzugsröhren einen Widerstand entgegensetzen; sie werden vielmehr dazu beitragen müssen, die letztere klaffend zu erhalten, und bei einer Dehnung des Gewebes durch Transsudatflüssigkeit, werden sich ihre elastischen Kräfte zu Gunsten einer Entleerung der Flüssigkeit in jenes Kanalsystem geltend machen." Durch v. RECKLINGHAUSEN wurde dann eine allgemeine Zellauskleidung, das jetzige Endothel, in den Lymphgefäßen und Lymphkapillaren nachgewiesen, was HIS seinerzeit bis auf jene vorspringenden Kerne noch nicht beobachtet hatte. Daß die Existenz eines Lymphgefäßepithels an der Filtrationstheorie nichts ändert, ist dann von HIS[85]) ausführlich begründet worden, und damit konnte dann GASKEL und besonders auf Grund seiner Beobachtungen über die nach allen Richtungen hin angeordneten elastischen Netze jene allgemeinen Bedingungen für die Filtration einer entstandenen Gewebsflüssigkeit in die Lymphgefäße dahin formulieren, daß der von den elastischen Fasern allseitig auseinandergezerrte und also in geringeren Druck gebrachte Endothelschlauch mechanisch sich mit jener Flüssigkeit anfüllen müsse.

Es ist bekannt, daß die Lymphe reichlicher fließt unter dem Einfluß der Muskelkontraktionen. Für eine Erklärung dieser Tatsache kommen außer den allgemeinen Gewebsdehnungen, die ohne weiteres ansaugend wirken müssen, nach meinen obigen Beobachtungen auch noch jene direkten Verbindungen in Betracht, welche die Muskulatur der betreffenden Organe durch besondere elastische Faserzüge mit ihren Lymphgefäßen verbindet.

Vergleiche ich nun mit den histologischen Verhältnissen an der Wand der Lymphgefäße in Haut und Schleimhaut jene Einrichtungen, welche im Zentralnervensystem um ihre Blutgefäße herum oder an seiner Oberfläche als lymphatische Räume liegen und dem Gehirnparenchym zu durch die gliöse Grenzhaut abgeschlossen sind, so zeigt sich eine gewisse morphologische Übereinstimmung. Wie dort eine *Filtrationsfläche* durch das *Endothel der Lymphgefäße* gegeben und auf einem *Apparat von verästelten Bindegewebszellen* und *einem Netzwerk von elastischen Fasern* befestigt ist, so erscheint am Gehirn eine ähnliche Einrichtung im *System der marginalen Neuroglia mit ihrer geschlossenen Grenzhaut*

enthalten zu sein. Wie die elastischen Fasern mit ihren fußartigen Ansätzen insbesondere dem *Offenhalten* des Lymphgefäßes dienen, so werden auch die *radiären und zum Teil von Neurogliafasern gelieferten Abschnitte der gliösen Grenzschicht* eine gleiche Wirkung auf jene Räume ausüben können, indem sie sie vor einem dauernden Schluß durch den intrakraniellen Druck bewahren. Insofern nun die pulsatorischen und respiratorischen Druckschwankungen sowie die rhythmischen, vom Gefäßzentrum abhängigen Veränderungen in der Füllung der Gehirngefäße auch auf die Umgebung wirken müssen, wird man von Saugwirkungen jener Räume sprechen dürfen, die sich denen vergleichen lassen, welche in den bindegewebigen Häuten des Körpers durch ihre Gewebsspannungen entstehen. Daß jene marginale Glia in ihrer Grenz- und Rindenschicht zugleich eine Schutzhülle für das nervöse Parenchym gegen die Pulsationen der Gehirngefäße oder auch für die dünnwandigen Blutgefäßröhren selber mit ihrer geringeren Adventia bedeuten mag, wie Andriezen ausgeführt, wird an jener andern Funktion nichts ändern können. Sonst aber werden die Bedingungen für eine Ansaugung und Filtration von Gewebsflüssigkeit in die Lymphräume des Gehirns und ihre weitere Bewegung besondere sein und in ihrer allgemeinen Anordnung natürlich unterschieden werden müssen von denen in Haut und Schleimhaut. Das geht daraus hervor, daß jene Räume im Innern des Gehirns *perivasculär* angeordnet sind, wodurch die Druckschwankungen in den Gehirngefäßen sich unmittelbar in eine Bewegung der in ihren perivasculären Räumen befindlichen Flüssigkeit umsetzen müssen.

Dadurch endlich, daß zwei verschiedene Gewebsarten zu den lymphatischen Räumen des Gehirns zusammenkommen, sind, vielleicht von den feinsten Kapillaren abgesehen, *zwei Filtrationsflächen zwischen das Endothel der Blutgefäße und der nervösen zentralen Substanz* eingesetzt, einmal die *Zellhaut der Intima piae* mit ihrer perivasculären Tiefenfortsetzung und dann die besondere *Grenzhaut der Neuroglia*. In wie weit dieser engsten und eigensten Grenze des Gehirns ein *besonderer osmotischer Wert* zukommt, der für den Stoffwechsel des Zentralnervensystems bestimmend ist, werden erst besondere Untersuchungen zeigen können.

Digitized by Google

Literatur.

1) R. Virchow, Über eine im Gehirn und Rückenmark gefundene Substanz mit der chemischen Reaktion der Cellulose. Arch. f. path. Anat. u. Phys. 1853.

2) Kölliker, Handbuch der Gewebelehre. 1863.

3) Deiters, Untersuchungen über Gehirn und Rückenmark. 1865.

4) Golgi, Contributione alla fina anatomia degli organi centrali del sistema nervoso. 1871.

5) Ranvier, De la névroglie. Archives des physiologie normale et pathologique. 1883.

6) Weigert, Beiträge zur Kenntnis der menschlichen Neuroglia. Frankfurt 1895.

7) S. B. Pellizzi, Sulla struttura e sull' origine delle granulazioni ependimali. Contributo all istologia e patologia della nevrologia. Riv. sper. Frenatria 22. 1896.

8) A. v. Kölliker, Handbuch der Gewebelehre. 1897. S. 148—153.

9) F. Reinke, Beiträge zur Histologie des Menschen II. Arch. f. mikr. Anatomie. 50. 1897.

10) H. Held, II. Abhandlung über Nervenzellenstrukturen. Arch. f. Anatomie 1897, Suppl. S. 275 Anm.

11) W. F. Robertson, Note on Weigerts theory regarding the structure of the Neuroglia. Journ. of Mental Science 1897.

12) Eurich, Studies on the Neuroglia, Brain 1897.

13) Whitwell, On the Structure of the Neuroglia. British med. Jour. 12.

14) Brodmann, Über den Nachweis von Astrocyten mittelst der Weigertschen Gliafärbung. Jenaische Zeitschr. f. Naturw. XXXIII. 1899. 1. S. 181.

15) Yamagiva, Eine neue Färbung der Neuroglia. Virchows Archiv 160. S. 358. 1900.

16) Ströbe, Über Struktur pathologischer Neurogliawucherungen. Zentralblatt f. allg. Path. u. path. Anat. 1896. S. 864.

17) Storch, Über die pathologisch-anatomischen Vorgänge am Stützgerüst des Zentralnervensystems. Virchows Archiv. 157. 1899.

18) E. Müller, Studien über Neuroglia. Arch. f. mikr. Anatomie. 55. 1899.

19) Studnička, Untersuchungen über den Bau des Ependyms der nervösen Zentralorgane. Anatomische Hefte. Bd. XV. 1900.

20) Obersteiner, Zur Histologie der Gliazellen in der Molekularschicht der Großhirnrinde. Arb. a. d. Institut. 1900.

21) Marinesco, Du rôle de la nevroglie dans l'évolution des inflammations. 2. internat. med. Congress. Paris 1900. (n. d. Jahresbericht v. Schwalbe. VI. 1900.)

22) Z. Dimitrova, Recherches sur la structure de la Glande pinéale. Le Nevraxe. II. 1901.

23) G. CARL HUBER, Studies of Neuroglia. The American Journal of Anatomy. I. 1901.

24) IRVING HARDESTY, The Neuroglia of the Spinal Cord of the Elephant with some preliminary Observation upon the Developement of Neuroglia Fibres. American Journal of Anatomy II. Nr. I.

25) H. FUCHS, Über das Ependym. Verh. d. anatom. Gesellschaft zu Halle 1902.

26) AGUERRE, Untersuchungen über die menschliche Neuroglia. Arch. f. mikr. Anat. 56. 1900.

27) W. HIS, Über ein perivasculäres Kanalsystem in den nervösen Centralorganen 1865.

28) F. BOLL, Die Histiologie und Histiogenese der nervösen Centralorgane. Berlin 1873.

29) A. GOETTE, Die Entwicklungsgeschichte der Unke. Leipzig 1875.

30) HENSEN, Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte 1876.

31) W. HIS, Über das Auftreten der weißen Substanz und der Wurzelfasern am Rückenmark menschlicher Embryonen. Arch. f. Anatomie 1883.

32) W. HIS, Zur Geschichte des menschlichen Rückenmarks und der Nervenwurzeln. Abh. d. math. phys. Klasse d. Kgl. sächs. Ges. d. W. 1886.

33) W. HIS, Die Neuroblasten und deren Entstehung im embryonalen Mark. Abh. d. math. phys. Kl. d. Kgl. s. Ges. d. W. 1889.

34) VIGNAL, Sur le développement des éléments de la moelle des mammifères. Arch. de physiologie normale et path. 1884.

35) H. GIERKE, Die Stützsubstanz des Centralnervensystems. Arch. f. mikr. Anatomie 25, 26 1885, 1886.

36) C. GOLGI, Sulla fina anatomia degli organi centrali del sistema nervoso. Milano 1885.

37) F. NANSEN, The Structure and Combination of the Histological Elements of the Central Nervous System. Bergen 1887.

38) R. y CAJAL, Sur l'origine et les ramifications des fibres nerveuses de la moelle embryonnaire. Anat. Anzeiger 1890.

Nuevos observationes sobre la estructura de la médula espinal de les mamiferos. Barcelona, 1890.

39) A. v. KÖLLIKER, Zur feineren Anatomie des centralen Nervensystems, II. das Rückenmark. Zeitschrift f. wiss. Zool. 1890.

40) v. GEHUCHTEN, La structure des centres nerveux. La cellule 1891.

41) M. v. LENHOSSÉK, Zur Kenntnis der Neuroglia des menschl. Rückenmarks. Verhandl. der anat. Gesellsch. 1891.

Feinerer Bau des Nervensystems 1892.

42) G. RETZIUS, Ependym und Neuroglia. Biol. Unters. 1893.

43) Cl. SALA y PONS, La Neuroglia de los Vertebrados. Barcelona 1894.

44) P. LACHI, Contribution à l'histogenèse de la nevrologie dans la moelle épinière du poulet. Arch. it. biol. XV. 1891.

45) G. VALENTI, Contribution à l'histogenèse de la cellule nerveuse et de la nevrologie du cerveau de certains poissons chondrostéiques. Arch. it. biol. XVI. 1891.

46) CAPOBIANCO, Della partecipazione mesodermica nelle genesi della neuroglia cerebrale. Monit. zool. ital. XII. 1901 u. Arch. ital. biol. 1902.

47) SHINKISHI HATAI, On the origin of nevrologia tissue from the mesoblast. Journ. of comp. neurology XII. 1902.

48) H. GIERKE, Die Stützsubstanz des Centralnervensystems Arch. f. mikr. Anatomie 1885—1886.

49) BERGMANN, Zeitschrift f. rat. Medicin. N. F. VIII.

50) C. GOLGI, Gesammelte Abhandl. deutsche Ausgabe 1894.

51) J. HENLE und F. MERKEL, Über die sogenannte Bindesubstanz der Centralorgane des Nervensystems. Zeitschr. f. ration. Medicin 1868.

52) J. SCHAFFER, die oberflächliche Gliahülle und das Stützgerüst des weißen Rückenmarksmantels. Anat. Anzeiger 1894. Beiträge zur Kenntnis des Stützgerüstes im menschlichen Rückenmarke. Arch. f. mikr. Anat. 1894.

53) RENAULT, Insertion sous forme de revêtement épithélial continu des pieds des fibres neurogliques sur la limitante marginale d'un nevraxe adulte. Comptes rend. hebdom. des sc. T. 126.

54) S. KURE, Über die Beziehungen der Glia zu den Gefäßen. Neurologia I.

55) FROMMAN, Untersuchungen über die normale und pathologische Anatomie des Rückenmarkes. Jena 1864 und 1877.

56) L. ANDRIEZEN, On a system of fibre-cells surrounding the blood-vessels of the Brain of Man and Mammals, and its Physiological Significance. Intern. Monatsschr. f. An. und Phys. X. 1893.

57) W. HIS, Über ein perivasculäres Kanalsystem in den nervösen Zentralorganen und über dessen Beziehungen zum Lymphsystem. Leipzig 1865.

58) AXEL KEY und G. RETZIUS, Studien in der Anatomie des Nervensystems und des Bindegewebes. Stockholm 1875.

59) R. VIRCHOW, Über die Erweiterung kleinerer Gefäße. VIRCHOWS Archiv III. 1851.

60) CH. ROBIN, zuerst in Segond, Le systeme capillaire sanguin., Paris 1853, dann in Comptes rendus et mém. de la Soc. de Biol. Paris 1855 u. Recherches sur quelques Particularités de la Structure des Capillaires de l'encéphale. Journal de la Physiol. 1859 (S. 543—545).

61) W. HIS, Beiträge zur Kenntnis der zum Lymphsystem gehörigen Drüsen. Zeitschr. f. wiss. Zool. X. 1859. S. 340.

62) C. J. EBERTH, Über die Blut- u. Lymphgefäße des Gehirns u. Rückenmarks. VIRCHOWS Archiv 49. 1870.

62a) RIEDEL, Die perivasculären Lymphgefäße im Zentralnervensystem und der Retina. Arch. f. mikr. Anatomie 1870.

63) BEVAN LEWIS, A text book of mental diseases with special reference to the pathological aspects of insanity. London 1889.

64) BINSWANGER und BERGER, Beiträge zur Kenntnis der Lymphzirkulation in der Großhirnrinde. VIRCHOWS Archiv 152. 1898.

65) ALBRECHT BETHE, Über die Neurofibrillen in den Ganglienzellen von Wirbeltieren und ihre Beziehungen zu den GOLGInetzen. Archiv für mikrosk. Anat. 55. 1900.

66) HANS HELD, Über den Bau der grauen und weißen Substanz I. Arch. f. Anatomie. 1902.

67) S. PALADINO, Sur les limites précises entre la névroglie et les éléments nerveux dans la moelle épinière, et sur quelques-unes des questions histophysiologiques qui s'y rapportent. Ach. ital. de Biologie XXII. 1895.

68) STEPHAN APÁTHY, das leitende Element des Nervensystems und seine topographischen Beziehungen zu den Zellen. Mitt. d. zool. Station XII. 1897.

69) EMIL HOLMGREEN, Studien in der feineren Anatomie der Nervenzellen. Anat. Hefte XV. 1900.

Digitized by Google

70) Ch. Simon, Recherches sur la cellule des ganglions sympathiques des Hirudinées. Internationale Monatsschr. f. An. u. Phys. XIII. 1896.

71) A. Bethe, Über die Neurofibrillen in den Ganglienzellen der Wirbeltiere und ihre Beziehungen zu den Golginetzen. Arch. f. mikr. Anatomie 55. 1900.

72) O. Deiters, Untersuchungen über Gehirn und Rückenmark. 1865.

73) E. Storch, Über die pathologisch-anatomischen Vorgänge am Stützgerüst des Zentrelnervensystems. Virchows Arch. 157. 1899. S. 233.

74) R. y Cajal Algunas conjeturas sobre el mecanismo anatómico de la Ideacion, Asociation y Atencion. Madrid 1895 und Arch. f. Anat. 1895.

75) R. Wlassak, Die Herkunft des Myelins, Archiv f. Entwicklungsmechanik 1895.

76) Fr. Nissl, Über einige Beziehungen zwischen Nervenzellerkrankungen und gliösen Erscheinungen bei verschiedenen Psychosen. Arch. f. Psychiatrie 1899.

77) V. Pranter, Zur Färbung der elastischen Fasern. Zentralbl. für allg. Path. u. path. Anat. XIII. 1902.

78) W. His, Über die Wurzeln der Lymphgefäße in den Häuten des Körpers und über die Theorien der Lymphbildung. Zeitschr. f. wiss. Zool. XII. 1862.

79) W. H. Gaskell, Über die Wand der Lymphkapillaren (C. Ludwig, Arbeiten aus d. phys. Institut zu Leipzig. 1877 S. 143).

80) Rieder, Beiträge zur Histologie und pathol. Anatomie der Lymphgefäße und Venen. Zentralbl. f. allg. Path. 1898.

81) Reinke, Zellstudien, Arch. f. mikr. Anatomie 1894.

82) A. Spuler, Beiträge zur Histologie und Histogenese der Binde- und Stützsubstanz. Anat. Hefte 1896.

83) W. Flemming, Über die Entwicklung der kollagenen Bindegewebsfibrillen bei Amphibien und Säugetieren. Arch. f. Anat. u. Phys. anat. Abt. 1897.

84) M. Gardner, Zur Frage über die Histogenese des elastischen Gewebes, Biol. Zentralbl. 1897.

85) W. His, Über das Epithel der Lymphgefäßwurzeln und über die v. Recklinghausenschen Saftkanälchen. Zeitschr. f. wissensch. Zoologie. 1863. S. 470.

Digitized by Google

Tafelerklärung.

Tafel I, Figg. 1—19.
Tafel II, Figg. 21—36.
Tafel III, Figg. 37—52.
Tafel IV, Figg. 53—60.
Figg. 20a—c im Text. S. 215 und 293, 294.

Mit Ausnahme der Fig. 49 und teilweise auch der Fig. 47a, welche vor einigen Jahren Herr Lithograph SCHINDLER angefertigt hat, habe ich sonst selber die übrigen Abbildungen mit Hilfe der ABBÉschen Camera gezeichnet. Die Figg. 21 u. 22 betreffen Präparate von Herrn Geheimrat W. His, die Fig. 27 ein solches von Herrn Professor S. KÄSTNER, die Figg. 23—26 entstammen einer ALTMANNschen Serie. Die übrigen Abbildungen sind nach eigenen Präparaten gezeichnet. Die Figg. 15—19 sind in Originalgröße, die anderen auf $^2/_3$ reduziert worden.

Tafel I.

Fig. 1. Aus einem Querschnitt durch das Lendenrückenmark vom erwachsenen Kaninchen, der den Zentralkanal und seine Umgebung zeigt. Fixierung in einer erwärmten Lösung von Kal. bichrom. und Amm. molybd. Differ. Alsol-Hämatoxylinfärbung. LEITZ Obj. 4. Oc. 6.

Fig. 2. Aus demselben Schnitt; ventraler Teil des Ependyms. HARTNACK homog. Imm. $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 3. Ependym des IV. Ventrikels vom Kaninchen in der Höhe des Facialiskerns. Fixierung in MÜLLERscher Lösung mit sec. Osmierung. Auf Granula differ. Hämatoxylinfärbung. HARTNACK homog. Imm. $^1/_{12}$. Oc. 6. Außer dem Ependym sind zwei subependymäre Gliazellen angeschnitten. Gliafasern dunkelschwarz, Protoplasmakörnchen dunkelgrau.

Fig. 4a und b. Gliazellen aus dem Querschnitt des Kaninchenrückenmarks (weiße Substanz des Vorderstranges).
Fig. 4a eine spongioplasmatische, Fig. 4b eine häutchenartige Gliazelle. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 4c. Oberflächliche Gliazelle aus der ventralen Hirnstammfläche vom Kaninchen, welche mit ihrer Zellleibsfläche direkt die M. lim. Gliae superf. bildet. Gliafasern schwarz, Protoplasmagranula (z. Teil Ringkörner) mattgrau. Fixierung in MÜLLERscher Lösung mit sec. Osmierung. Auf Granula differ. Alsol-Hämatoxylinfärbung.

Figg. 5a—c, 6—10. Gliazellen aus dem menschlichen Rückenmarksquerschnitt (Fig. 7a von einem 21jährigen, die übrigen von einem 24jährigen Hingerichteten). Figg. 5a—c, 6, 8—10 aus der weißen Substanz. Kal. bichrom. Eisenalaunfixierung. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 5d. Aus einem Längsschnitt durch die weiße Substanz vom Rückenmark des Rindes.
Fig. 5a. Quergefaserte Gliazelle; auf den nächsten Schnitten hängt der unten angeschnittene Fortsatz mit einer Gliazelle zusammen. Fig. 5b. Die

Digitized by Google

obere Gliazelle ist eine faserarme Form von großem und granuliertem Protoplasmaleib. Fig. 5c. Zwei Gliazellen, bei denen die Gliafasern hauptsächlich in den Fortsätzen liegen.

Fig. 5d. Vom Rind; breit anastomosierendes Syncytium von Gliazellen, dessen Protoplasma flächenhaft mehrere Nervenfaserräume umscheidet und zahlreiche Gliafasern enthält.

Fig. 6. Zwei zusammenhängende Zellen; die untere zur Hälfte spongioplasmatisch und radiärgefasert, die obere protoplasmagroß, granuliert und quergefasert.

Fig. 7. Zwei zusammenhängende radiärgefaserte Gliazellen; beide spongioplasmatisch.

Fig. 7a. Radiärgebündelte Gliazelle aus d. Subst. Neurogliae centralis.

Fig. 8a. Protoplasmakleine Gliazelle, radiärgefasert.

Fig. 8b. Protoplasmakleinste Zelle, quergefasert.

Fig. 9. Zweikernige Gliazelle, die stark granuliert ist.

Fig. 10. Protoplasmakleine Gliazelle mit dicken Fortsätzen, die aber rein überkreuzt sind von Gliafasern.

Fig. 11. Querschnittsbild aus der weißen Substanz des menschlichen Lendenrückenmarks (Gegend der hinteren Wurzelzone). Hingerichteter von 24 Jahren. Fixierung in Kal. bichrom. und Eisenalaun. Differ. Hämatoxylinfärbung nach M. HEIDENHAIN. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6. (Kein Netz zwischen den Nervenfasern.)

Fig. 12. Aus demselben Schnitt; Durchtrittszone vorderer Wurzeln durch den Vorderstrang.

Fig. 13. Aus dem Lumbalmark vom Menschen; Querschnittsbild aus dem Vorderstrang. Breitere Protoplasmamassen zwischen den Gliafasern. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 14. Netzförmig verzweigte Gliazelle aus der weißen Substanz der menschlichen Großhirnrinde (Hingerichteter von 24 Jahren). Alkohol-Chloroform-Eisessiggemisch. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 8.

Fig. 15. Aus demselben Schnitt.

Fig. 16. Aus der weißen Substanz des Kleinhirns vom Kaninchen. Molybdänmethode nach BETHE. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 8.

Fig. 17. Aus demselben Schnitt, der die netzförmigen Gliascheiden im Längsschnitt und zwei Gliaschnürringe zeigt. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 8.

Fig. 18. Aus der grauen Substanz des Vorderhirns vom erwachsenen Kaninchen; Flachschnitt durch zwei netzförmig verzweigte Gliazellen an der Oberfläche einer großen Vorderhirnzelle. Chrom-Formalin-Eisessig. Differ. Alsol-Hämatoxylinfärbung. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 8.

Fig. 19. Aus demselben Schnitt.

Textfiguren 20a—c. Gliazellen aus dem Rückenmark eines wenige Wochen alten Hundes. Silberfärbung nach GOLGI. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Tafel II.

Fig. 21. Teil des Rückenmarksquerschnittes des menschlichen Embryo EB. Präparat von Herrn Geheimrat W. HIS. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 22. Teil des Rückenmarksquerschnittes des menschlichen Embryo Br 3. Präparat von Herrn Geheimrat W. HIS. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Figg. 23—26. Vom Kaninchenembryo. Präparate von R. ALTMANN. Figg. 23—25 aus der seitlichen Oberfläche des verlängerten Markes, Fig. 26 des Rückenmarkes. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 27. Von einem Hühnchenembryo aus dem 5ten Tag der Bebrütung. Präparat von Herrn Professor S. KÄSTNER. Durchschnittsstelle des sensiblen Trigeminusnerven durch die M. limitans Gliae superficialis. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Figg. 28a—c. Drei Stadien aus der Entwicklung des N. opticus der Maus im Querschnitt. Fixierung im Chrom-Formalin-Eisessig. Differ. Alsol-Hämatoxylinfärbung. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 4.

Fig. 28a von einem 12 Tage alten Embryo, Fig. 28b von der neugeborenen, Fig. 28c von der 5 Tage alten Maus.

Fig. 29. Oberfläche des Lendenrückenmarks vom erwachsenen Kaninchen (Bereich des Seitenstrangs). Kal. bichrom. und Amm. molybd. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 4. Im Innern der weißen Substanz ist die Glia nicht vollständig ausgezeichnet worden. Bei *x* eine in der M. lim. Gliae superf. mit ihrem Zellleib eingefügte Gliazelle. Der links vom äußeren Blutgefäß befindliche Streifen von dichterer Glia gibt auf den nächsten Schnitten eine marginale und perivasculäre Glia für das dann eingedrungene Blutgefäß ab.

Fig. 30. Dorsale Oberfläche des menschlichen Rückenmarks (Umbiegung zum Septum post.) auf dem Querschnitt vom Lendenmark (Hingerichteter von 24 Jahren). Die Pia mater hat sich glatt von der M. lim. Gliae superf. abgehoben. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 2.

Fig. 31. Aus demselben Schnitt. Tiefe der Fissura long. ant.

Fig. 32. Aus demselben Schnitt. Begrenzung eines Septum der Pia mater aus dem Hinterstrang, welches nur an dieser Stelle gefäßlos erscheint.

Figg. 33a, b. Kleinhirnoberfläche vom erwachsenen Kaninchen. Chrom-Formalin-Eisessig. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 33a. Senkrechter Durchschnitt durch die Rindensubstanz. Fig. 33b. Flächenbild der M. limitans Gliae superficialis (links) und der Intima piae (rechts).

Figg. 34a—c. Senkrechte Durchschnitte durch die oberflächliche Zone der Großhirnrinde vom Menschen (Hingerichteter von 24 Jahren). Alkohol-Chloroform-Eisessig. Eisenalaunhämatoxylinfärbung nach M. HEIDENHAIN. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 34a. Wenig differenzierter Schnitt. Kammerartiger Bau der marginalen Glia; die Gliafasern erscheinen stellenweise als tiefdunkle Verstärkungsstreifen; Fig. 34c zeigt Differenzierung auf Gliafasern und ihre gefaserten Füße. Fig. 34b zeigt die glatte Lösung einer frisch abgezogenen Pia, die in Fig. 34c dagegen eng und gleichmäßig anliegt. In Fig. 34a ist die Intima piae blasenartig abgehoben, wodurch die Bildung eines epicerebralen Spaltraumes erfolgt ist. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 35. Flächenbild der M. lim. Gliae superficialis an der Großhirnrinde vom Menschen. Gleiches Präparat. Eintrittsstelle eines kleineren Blutgefäßes. Von der Pia sind einzelne verlagerte Bündel angeschnitten.

Fig. 36. Schiefer Flachschnitt von einem gleichen Präparat. Links ist die Grenzhaut angeschnitten, rechts die Gliaräume unter ihr.

Tafel III.

Fig. 37. Querschnitt durch eine kleine Arterie in der oberflächlichen Gliazone der Großhirnrinde vom Menschen. Oben ist ein geringer perivasculärer Raum offen; die adventitielle Scheide ist eng zusammengepreßt. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Digitized by Google

Fig. 38. Eintritt zweier Gefäße in die Substanz der Großhirnrinde; Übergang der oberflächlichen in die perivasculäre Grenzhaut der Neuroglia. Von demselben Gehirn. Seitz Obj. 4. Oc. 2.

Figg. 39a—c. Gliöse Gefäßeinscheidungen vom Kaninchen. b und c aus der Substantia Neurogliae centralis des Rückenmarks, a aus derjenigen des IV. Ventrikels. Hartnack $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 40. Flächenbild der perivasculären Grenzhaut an einer Vene des verlängerten Markes vom Kaninchen. Die Punkte resp. Striche in den einzelnen Feldern geben die Stellung von Gliafasern unter ihr an. Hartnack $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 41. Gliagrenzhaut an einer Kapillare aus der grauen Rinde vom Menschen (Hingerichteter von 24 Jahren). Links ist stellenweise das Gliareticulum sichtbar geworden. Am linken Ende der Kapillare ein adventitieller Kern, der eine schmale, sehr feine Protoplasmamasse als stellenweise sichtbare Scheide zwischen dem Endothelrohr und der perivasculären Gliahaut umgibt.

Fig. 42. Aus der weißen Substanz einer Großhirnwindung vom Menschen. Alkohol-Chloroform-Eisessig. Stark differenzierte Eisenalaunhämatoxylinfärbung nach M. Heidenhain. Am Gefäßrohr teils parallele, teils radiäre und ansetzende Gliafasern. Infolge der starken Entfärbung und der engen Anpressung ist weder von der Gliagrenzhaut, noch den das Gefäß begleitenden Räumen etwas zu sehen, sodaß der Anschein einer direkten Verbindung von Gliafaserfüßen mit dem Gefäßrohr selber entsteht. Hartnack $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 43. Querschnitt eines Blutgefäßes aus der grauen Rindensubstanz vom Kaninchen. Alkoholfixierung. Die radiäre Grenzschicht der Glia ist zerstört, ein breiter Schrumpfungsraum ist entstanden, in dem nur die Reste von Gliafüßen samt der Gliagrenzhaut am Gefäß geblieben sind. Diese Stelle ist noch eine der besseren, insofern sonst auch die Gliafüße und ihre M. limitans umfangreicher zerstört sind. Hartnack $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 44. Senkrechter Durchschnitt durch die innere Hälfte der Retina eines Meerschweins. Alkohol-Chloroform-Eisessig. Differenzierte Hämatoxylinfärbung. Stützfaserbündel in den Müllerschen Stützzellen; außerdem um die Ganglienzellen des Sehnerven und seinen Bündeln ein sehr feines und enges Netzwerk, welches mit den Müllerschen Stützfaserzellen zusammenzuhängen scheint. Hartnack $^1/_{12}$. Oc. 6.

Figg. 45 und 46. Vom Kleinhirn des Kaninchens. Einstichinjektion in die Tiefe. Alkohol-Chloroform-Eisessig.

Fig. 45. An der unteren Windungsoberfläche hat die Injektionsmasse die Pia abgedrängt und einen epicerebellaren Raum gefüllt, der durch die Grenzhaut mit ihren Gliafüßen von einem Schrumpfungsraum getrennt ist. Oben liegt die Injektion auch subarachnoidal, was wahrscheinlich durch Verletzung einer adventitiellen Blutgefäßscheide im Innern der Hirnsubstanz bedingt ist.

Fig. 46. Aus einer anderen Stelle von demselben Präparat. Die Tusche hat sich in dieser Windung unter der Membrana limitans Gliae superficialis gefangen.

Figg. 47a—c. Längsschnitt und zwei Querschnitte durch ein Konnectiv vom Blutegel. Gliazelle und ihre Ausbreitung zu Gliascheiden. a von einem gestreckten, b und c einem verkürzten Tier. Alkohol-Chloroform-Eisessig. Eisenalaun-Hämatoxylin nach M. Heidenhain. Hartnack $^1/_{12}$. Oc. 6.

Figg. 48a, b. Aus demselben Schnitt; Gliascheide von einem gestreckten Tier, b von einem verkürzten.

Digitized by Google

Fig. 49. Mediane Sternzelle vom Blutegel; starke Differenzierung, sodaß nur noch der Kern und das Gliagitter als ein von der Zelle scheinbar unabhängiges Netzwerk sichtbar geblieben sind. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 50. Aus einem Längsschnitt durch das Bauchganglion eines Blutegels. Mediane Sternzelle mit ihren Gliaausbreitungen. Das Gliagitter liegt im Zellprotoplasma; seine Ausbreitungen in die zentrale Fasermasse sind nicht ausgezeichnet, sondern nur ihre Fortsetzung als netzförmige Scheide von Ganglienzellen. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 51. Aus der Mucosa und Submucosa der Zunge vom Hund. Längsschnitt eines Lymphgefäßes. Sublimat-Eisessig. Differ. Hämatoxylinfärbung. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 4.

Figg. 52a und b. Aus demselben Schnitt. Fußansätze elastischer Fasern an der Lymphgefäßwand. In b die Verbindung elastischer Fasern mit einer Elastinzelle. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 8.

Tafel IV.

Fig. 53. Querschnitt einer Lymphkapillare aus dem gleichen Präparat. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 4.

Fig. 54. Hautseite des menschlichen Augenlids (Hingerichteter von 24 Jahren). Epithel oben. Sublimat-Eisessig. Differ. Hämatoxylinfärbung.

Figg. 55, 56. Aus den nächsten Schnitten desselben Präparates. Elastische Faserfärbung nach V. PRANTER.

Fig. 57. Aus der Hundezunge. Färbung der elastischen Fasern nach V. PRANTER.

Fig. 58. Aus der Hundezunge. Gleiches Präparat, aber Nachfärbung mit alkoholischer Erythrosinlösung. Epithel unten. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 6.

Fig. 59. Gleiche Färbung wie bei Fig. 58. Elastinzellen aus dem menschlichen Augenlid. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 8.

Fig. 60. Elastinzelle aus der Submucosa der Hundezunge. Differ. Hämatoxylinfärbung. HARTNACK $^1/_{12}$. Oc. 8.

Inhaltsübersicht.

	Seite
I. Bau der Neuroglia	201—302
Neurogliazellen und Neurogliafasern	202—235
Allgemeine Einteilung der Neuroglia	208—210
Substantia Neurogliae centralis	210—222
Diffuse Neuroglia	222—235
Entstehung der Neurogliafasern und die Enden derselben in den Fußstücken der Gliazellen	236—241
Marginale Neuroglia, ihre Grenzmembranen und ihre Entwicklung	241—275
Netzartig verzweigte Gliazellen	275—285
Elemente der Neuroglia beim Blutegel	285—292
Formation der Neuroglia und ihre Bedeutung	292—301
II. Wand der Lymphgefäße in Haut und Schleimhaut	302—309

Fig. 1.

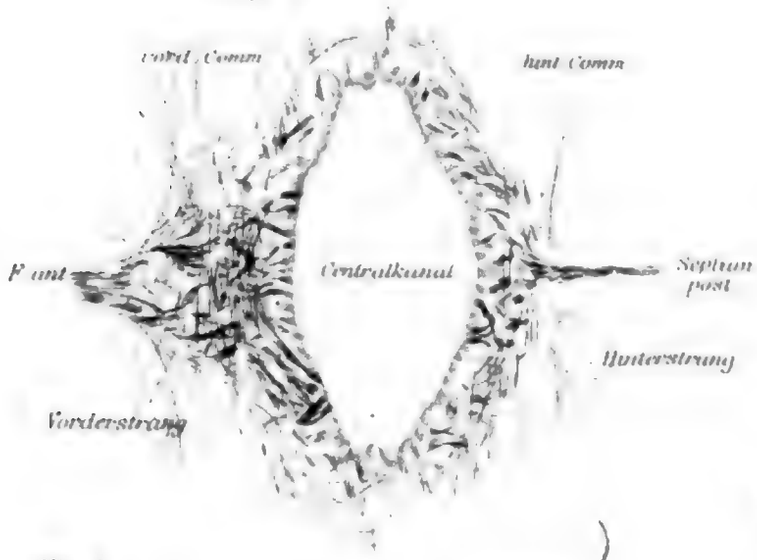


Fig. 2.

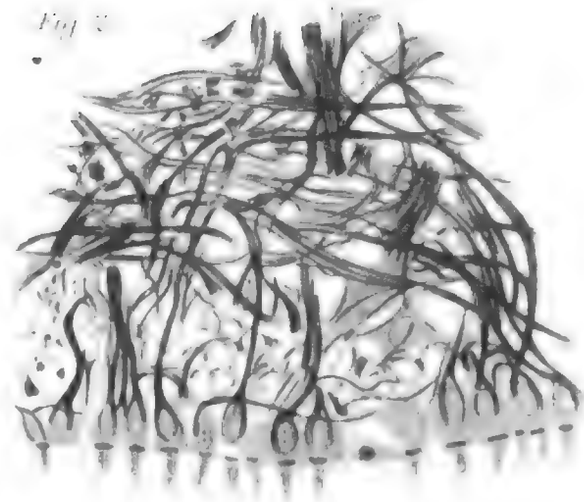


Fig. 3

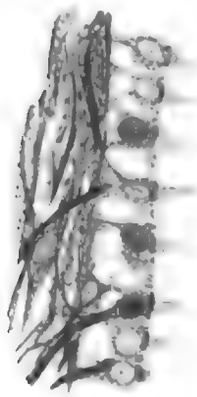


Fig. 4a.

Fig. 4b

Protoplasmagranula

Fig. 4c

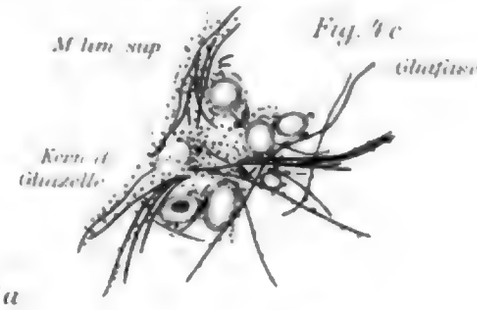


Fig. 8a

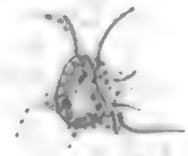


Fig. 8b.

Fig. 5b.

Fig. 5a

Fig. 5d

Fig. 5c

Fig. 6

Fig. 7.

Fig. 9.

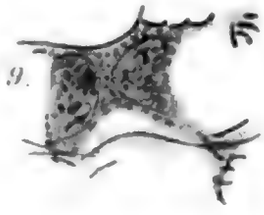


Fig. 10.

Digitized by Google

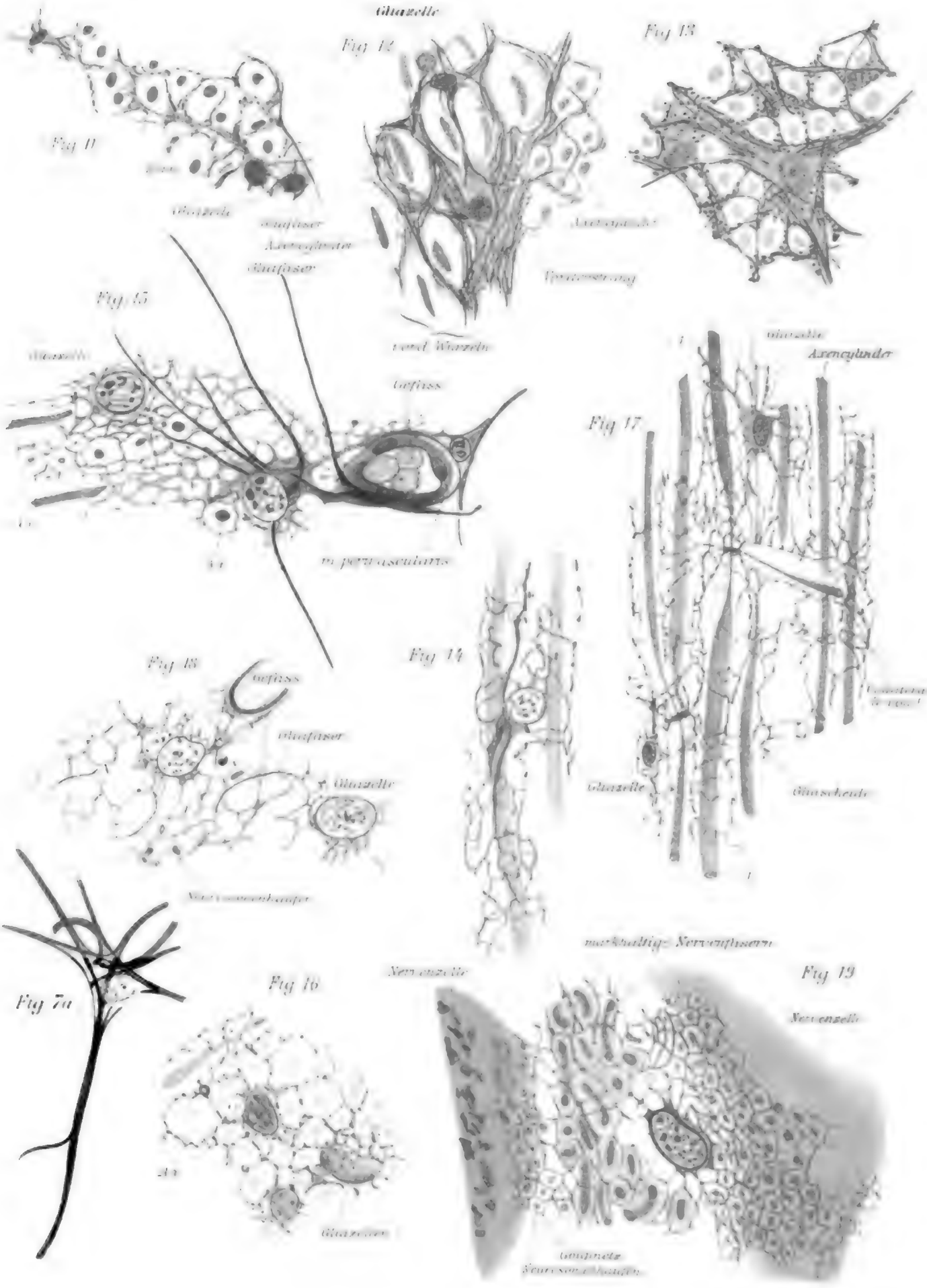
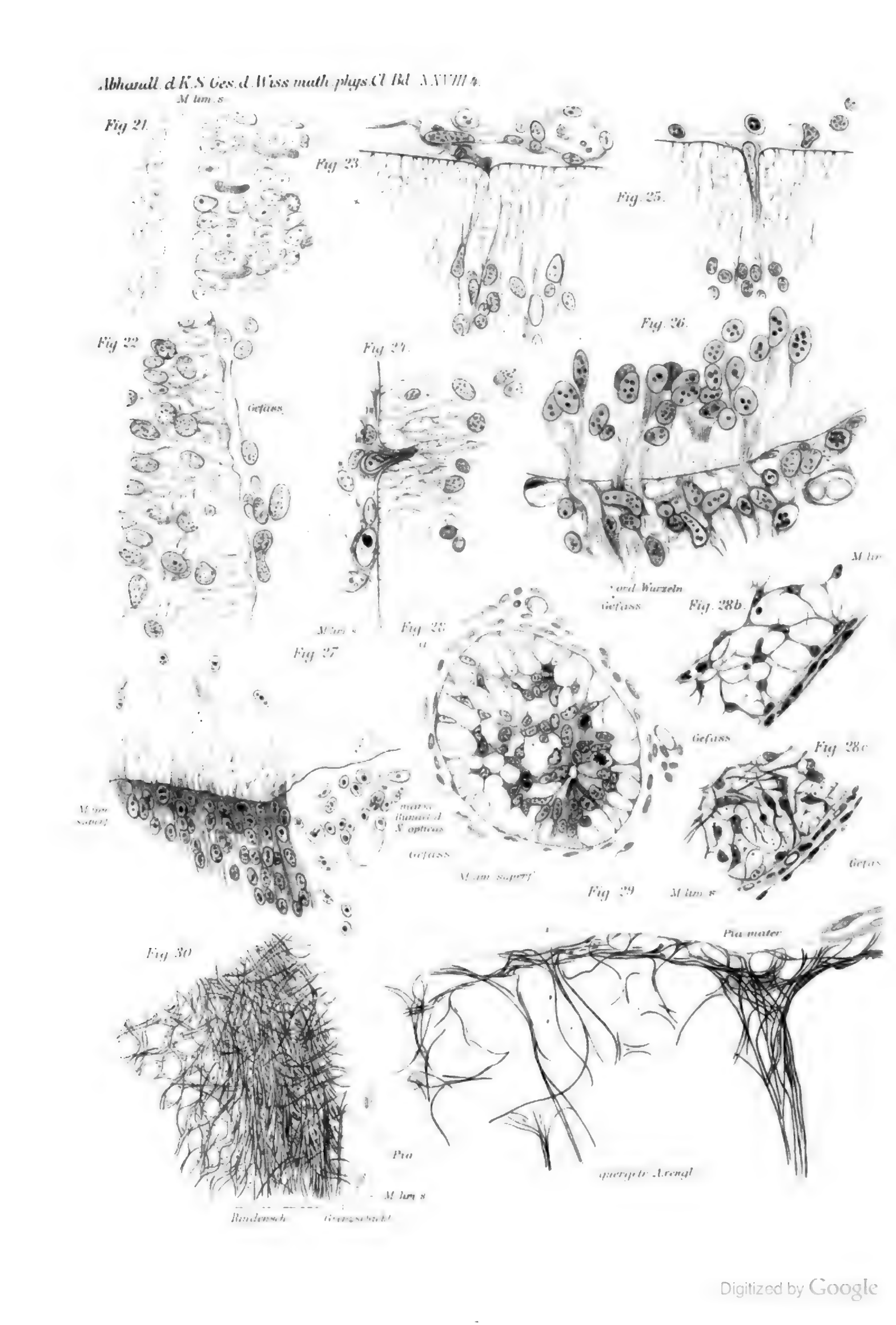
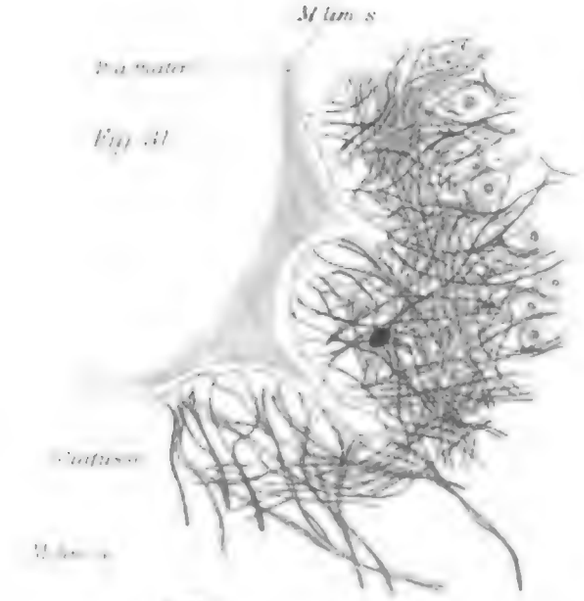
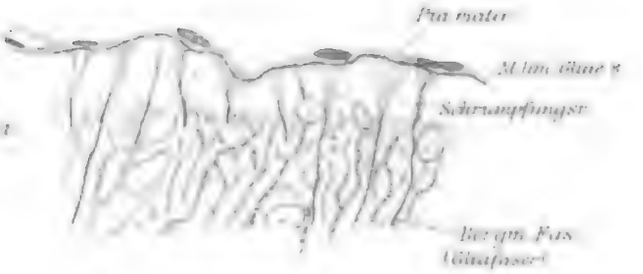


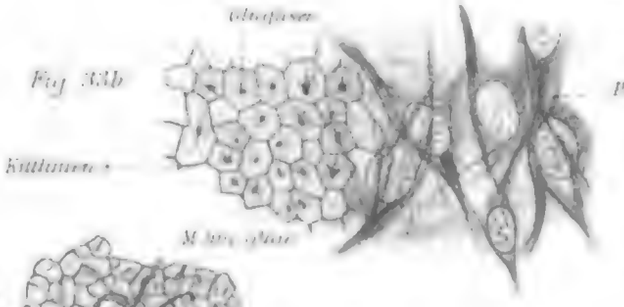
Fig. 11
Fig. 12
Fig. 13
Fig. 15
Fig. 17
Fig. 18
Fig. 14
Fig. 7a
Fig. 16
Fig. 19

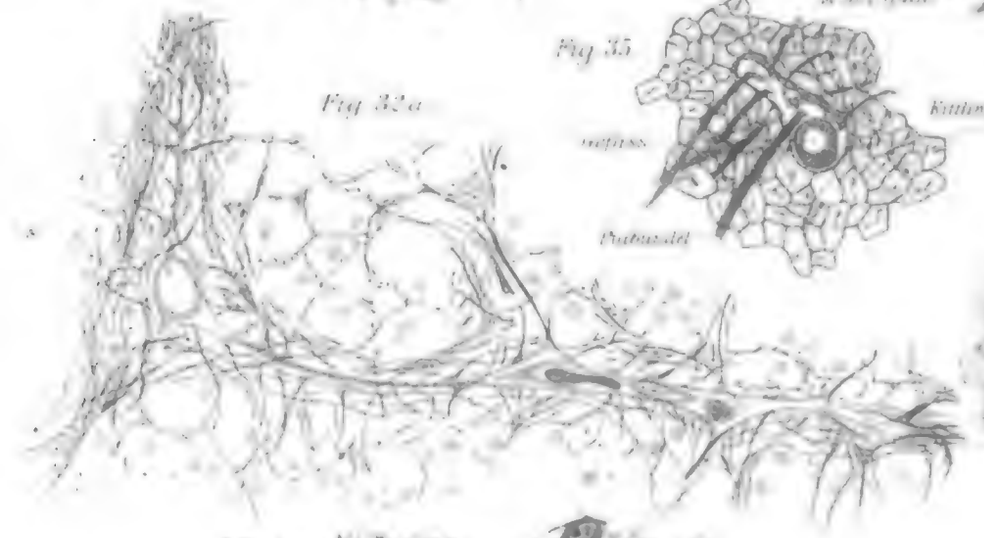


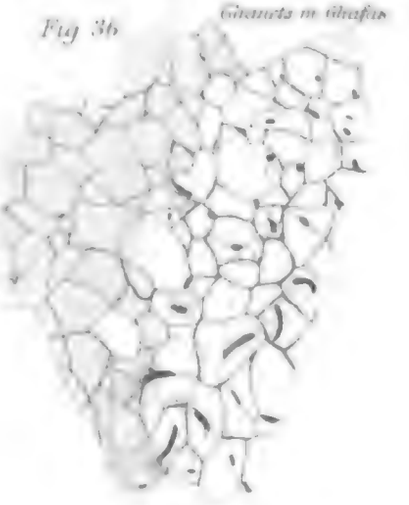
Digitized by Google

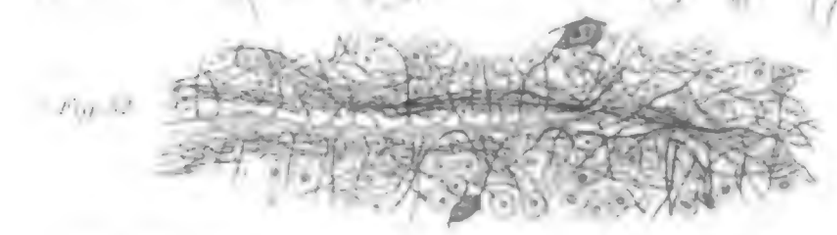


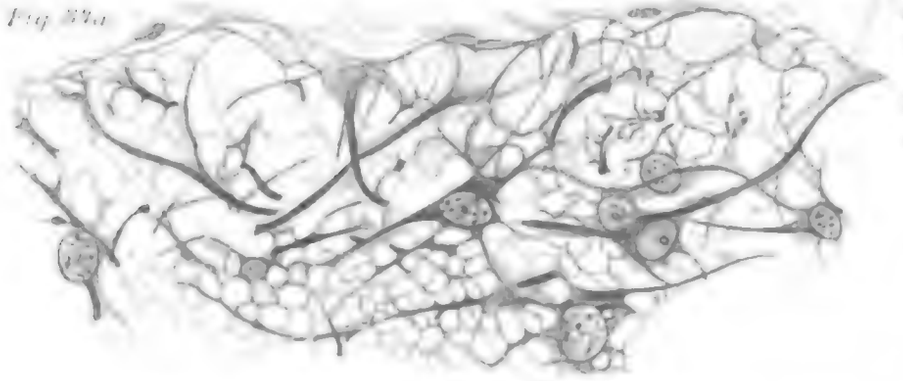


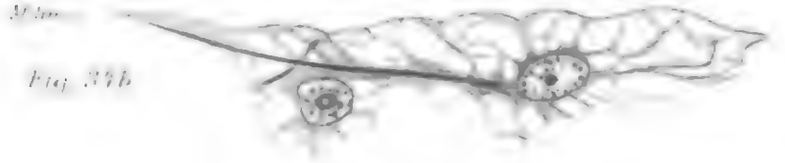




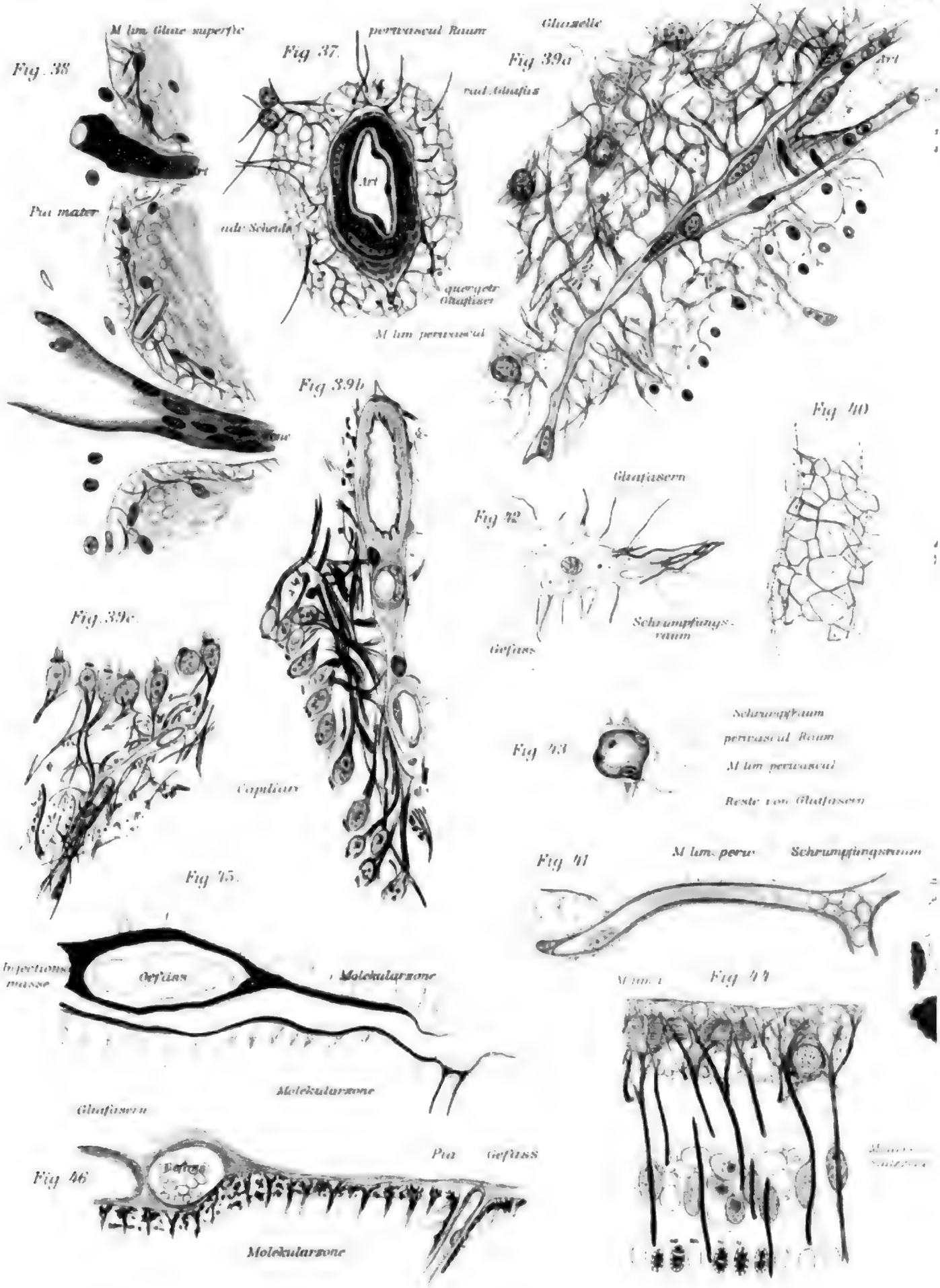








Digitized by Google



Digitized by Google

Glanzscheide

Nervenfaser

Taf III.

Fig 47a

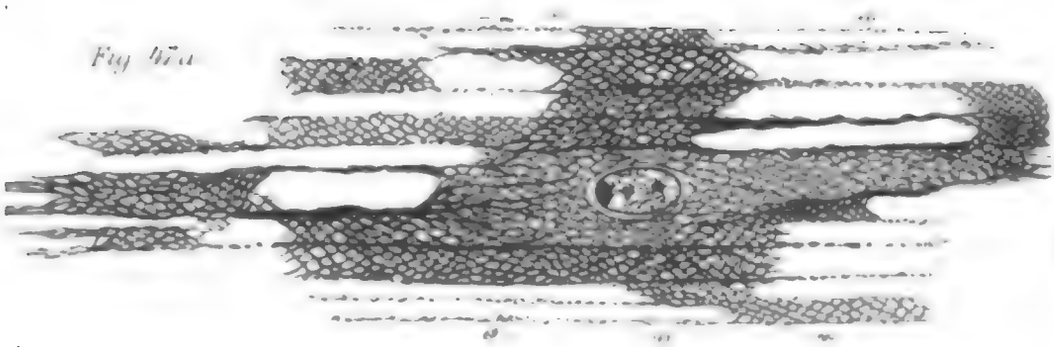


Fig 47b

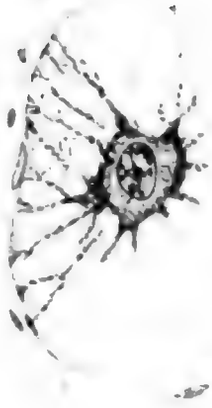


Fig 50.

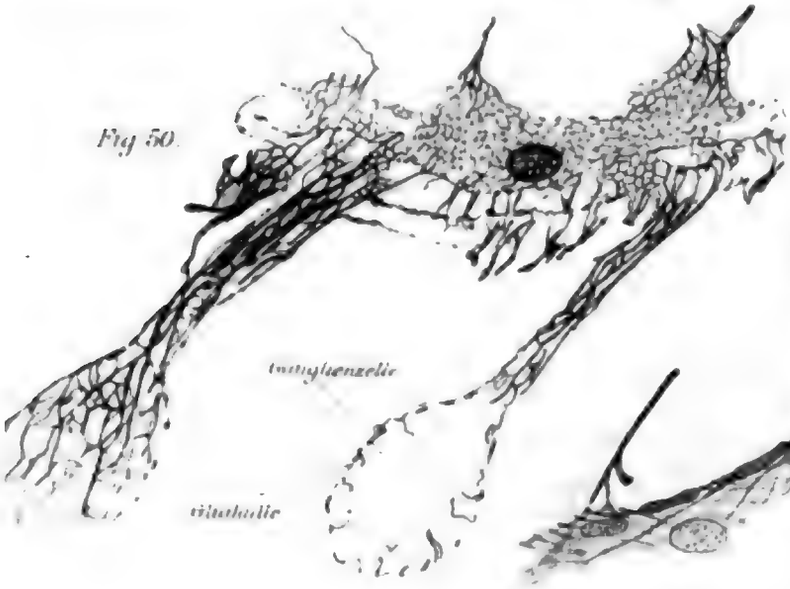


Fig 47c

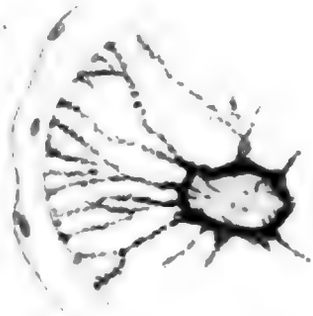


Fig 52a.

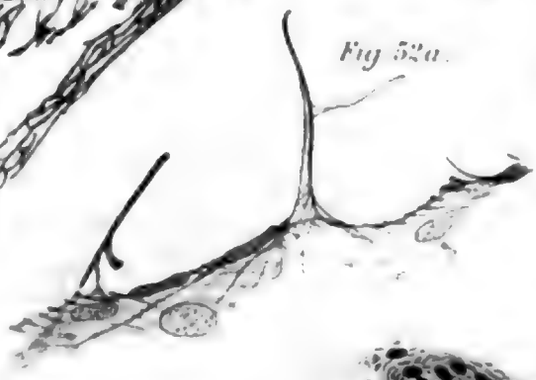
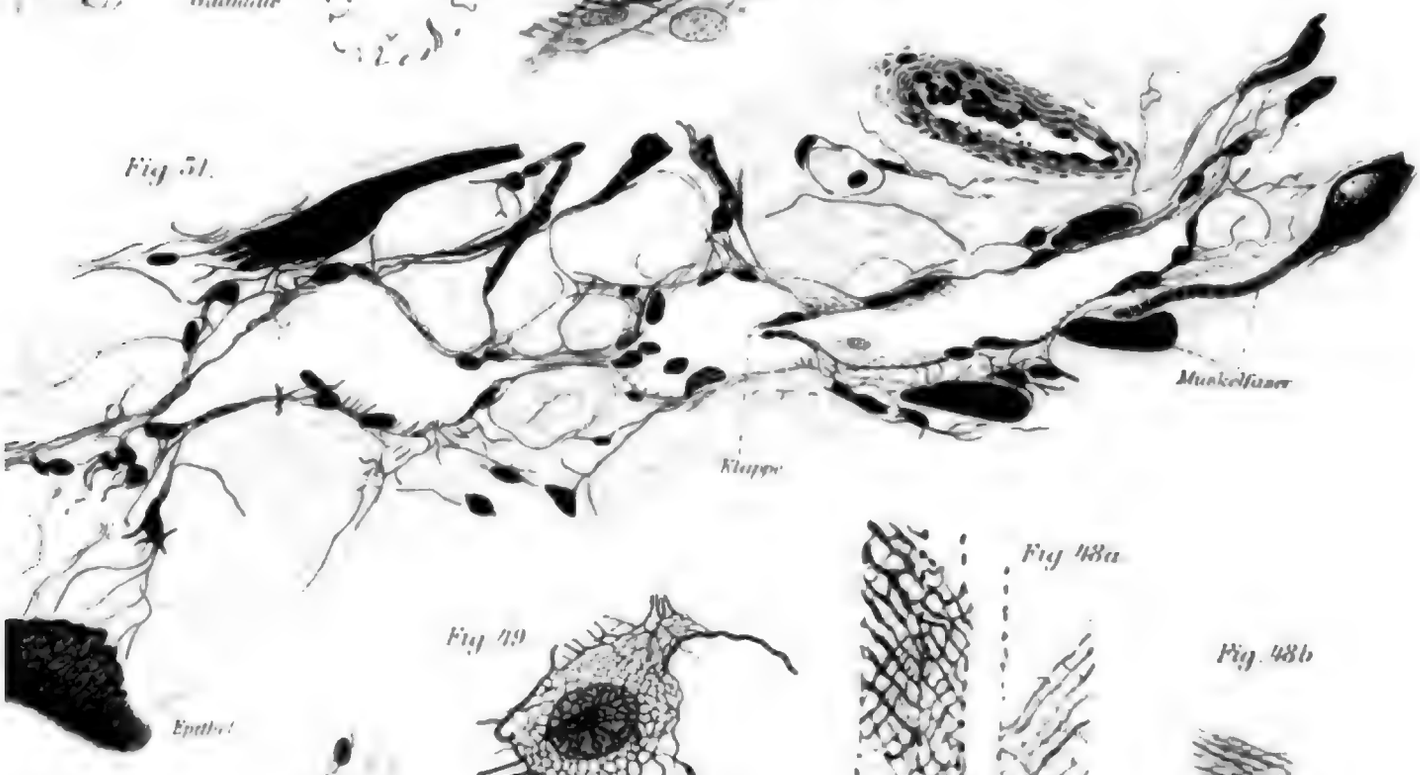


Fig 51.



Muskelfaser

Klappe

Epithel

Fig 49

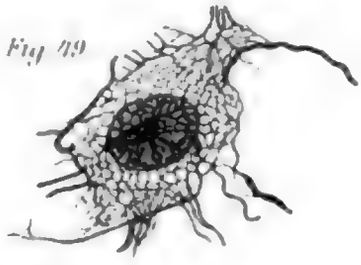


Fig 48a

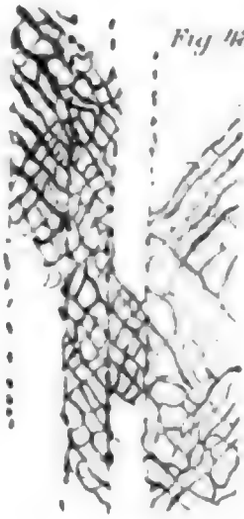


Fig 48b

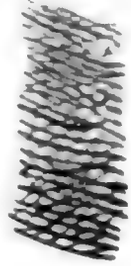


Fig 52b

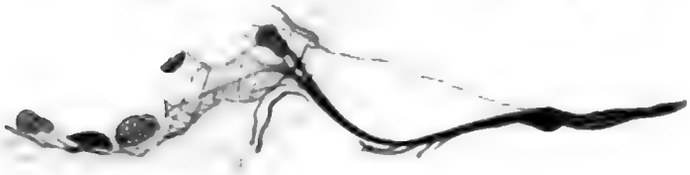


Fig. 53

Fig. 54

Fig. 55

Fig. 56

Fig. 58

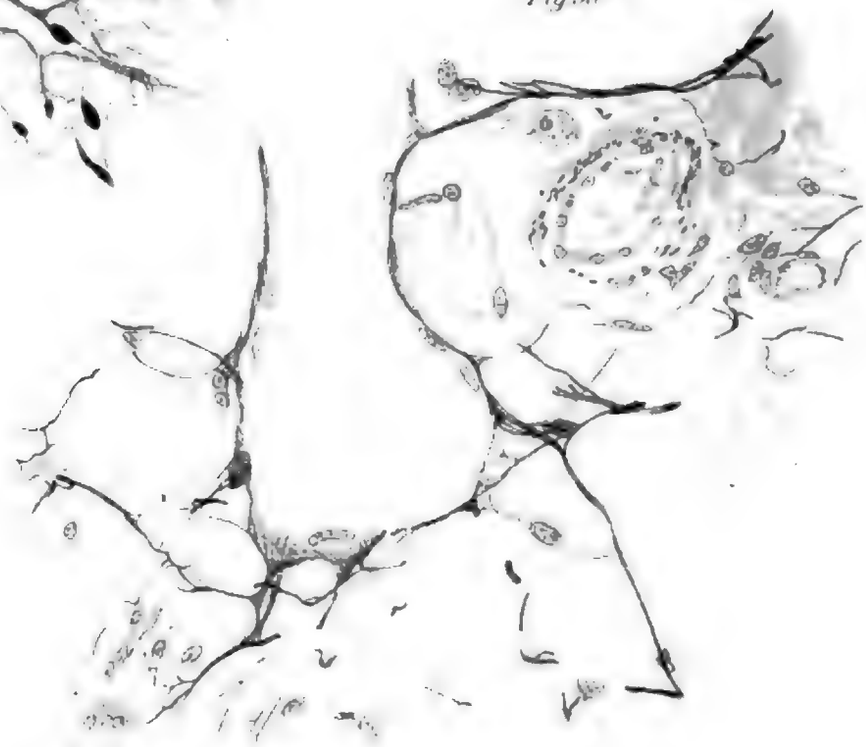


Fig. 59

Fig. 57

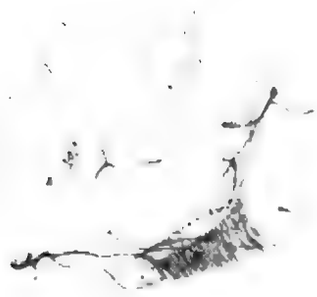


Fig. 60

Digitized by Google

DER

GANG DES MENSCHEN.

V. TEIL:

DIE KINEMATIK DES BEINSCHWINGENS.

VON

OTTO FISCHER,

AUSSERORDENTLICHEM MITGLIEDE DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Des XXVIII. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° V.

MIT 5 DOPPELTAFELN UND 8 TEXTFIGUREN.

LEIPZIG

BEI B. G. TEUBNER

1903.

Digitized by Google

Vorgetragen für die Abhandlungen am 6. Juli 1903.
Das Manuskript eingeliefert am 8. September 1903.
Der letzte Bogen druckfertig erklärt am 14. Oktober 1903.

DER

GANG DES MENSCHEN.

V. TEIL:

DIE KINEMATIK DES BEINSCHWINGENS.

VON

OTTO FISCHER,

AUSSERORDENTLICHEM MITGLIEDE DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Inhaltsverzeichnis.

		Seite
	Einleitung	321
I.	Über den typischen Wanderschritt	329
II.	Über die Kräfte, welche für die Periode des Schwingens in Frage kommen, und die Art ihrer Einwirkung auf die Abschnitte des Beins	347
III.	Die Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen, mit denen sich die drei Abschnitte des Beins während der Periode des Schwingens drehen	364
IV.	Die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Schwerpunkte der drei Abschnitte des Beins während der Periode des Schwingens . . .	389
	Rückblick	416

Digitized by Google

Einleitung.

Unter den Bewegungen, welche die einzelnen Teile des menschlichen Körpers beim Gehen ausführen, hat keine solche Meinungsverschiedenheiten hervorgerufen, als das Schwingen des vom Fußboden abgelösten Beins. Seitdem die Brüder Weber in ihrer Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge diese Bewegung als reine Pendelschwingung proklamiert und also ausschließlich dem Einfluß der Schwere zugeschrieben haben, ist der Streit der Meinungen nicht zu Ende gekommen. Neben Verfechtern der Weberschen Theorie finden sich zahlreiche Gegner derselben.[1]) Man ist auch bemüht gewesen, für seine Ansicht die empirischen Unterlagen zu erbringen; einen vollkommen einwandsfreien Beweis für dieselbe hat aber bisher noch niemand liefern können. So steht denn die definitive Entscheidung der Frage zur Zeit noch aus.

Der Grund, weshalb ein scheinbar so einfaches Problem noch keine exakte Lösung gefunden hat, ist wohl hauptsächlich darin zu suchen, daß man in der Regel mit unzureichenden Hilfsmitteln an die Behandlung desselben herangetreten ist. Es gibt keinen direkten Weg, nachzuweisen, ob sich an der Hervorbringung der Schwingungsbewegung Muskeln beteiligen, welche dabei in Tätigkeit sind, und mit welcher Spannung sie sich kontrahieren müssen. Die schon früher erwähnten Versuche und Beobachtungen von Duchenne sind zwar an und für sich sehr wertvoll und interessant, sie machen es auch wahrscheinlich, daß überhaupt Muskeln bei dieser Bewegung im Spiele sind, sie liefern aber doch keinen einwurfsfreien Beweis dafür und geben insbesondere auch keinerlei Aufschluß über den Grad der Spannung der etwa in Frage

1) Da in der Einleitung des I. Teiles dieser Untersuchungen über den Gang des Menschen die verschiedenen Ansichten über die Frage nach der Schwingung des Beins angeführt worden sind, so soll hier nicht noch einmal ausführlich darauf zurückgekommen werden.

Digitized by Google

kommenden Muskeln. Es könnte sehr wohl eine Bewegung unter alleiniger Einwirkung der Schwere zustande kommen, die man unter anderen Verhältnissen als Folge von Muskelaktionen erhält. Bei der Schwingungsbewegung des Beins während des Gehens hat man aber durchaus andere Verhältnisse als bei der lokalen Faradisation bestimmter Muskeln des ruhenden Beins; denn im ersten Falle erfährt ja der Aufhängepunkt des Beins, d. h. also der Mittelpunkt des Hüftgelenks, selbst eine Bewegung, welche auf die Art der Schwingung des Beins von ausschlaggebendem Einfluß ist. Ferner lassen sich die in pathologischen Zuständen auftretenden Bewegungserscheinungen natürlich nicht ohne weiteres auf den normalen Menschen übertragen.

Man hat daher zur sicheren Beurteilung der Frage, ob die Schwingungsbewegung des Beins reine Pendelschwingung ist oder nicht, nur den Umweg, sich eine so genaue Kenntnis der Bewegungen des Beins in der Periode des Schwingens zu verschaffen, daß man aus derselben entscheiden kann, was für Kräfte auf die einzelnen Abschnitte des Beins einwirken mußten, um diese Bewegung hervorzubringen. Es wird sich dann klar herausstellen, ob die Krafteinwirkung allein auf Kosten der Schwere zu setzen ist, oder ob noch andere Kräfte wirksam waren, welche im vorliegenden Falle nur der Kontraktion von Muskeln zuzuschreiben sind. Allerdings muß man zu diesem Zwecke die Beziehungen kennen, welche zwischen den einwirkenden Kräften einerseits und den durch sie hervorgerufenen Stellungsänderungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der einzelnen Abschnitte des Beins andererseits bestehen — Beziehungen, welche in den Bewegungsgleichungen ihren Ausdruck finden.

Man könnte vielleicht meinen, daß es genüge, sich eine Serie von Momentbildern des schwingenden Beins zu verschaffen und dieselben mit den entsprechenden Bewegungsphasen eines im mechanischen Sinne dem Bein äquivalenten Pendels zu vergleichen. Dies läßt sich jedoch auf dem Wege der Rechnung nicht ausführen, weil man die Phasen eines gegliederten Pendels gar nicht exakt ableiten kann. Die Schwingungen eines dreigliedrigen Pendels, wie es das Bein darstellt, bilden ein sehr verwickeltes mechanisches Problem. Man kann zwar die Bewegungsgleichungen für dasselbe aufstellen; diese Differentialgleichungen setzen aber im allgemeinen der Integration unüberwindliche Hindernisse ent-

Digitized by Google

gegen. Die successiven Stellungen, welche das Pendel während des Schwingens durchläuft, ließen sich aus den Differentialgleichungen der Bewegung aber nur auf dem Wege der Integration ableiten.

Ferner könnte man daran denken, sich ein dreigliedriges physisches Pendel zu verschaffen, welches in mechanischer Beziehung dem im Kniegelenk und Fußgelenk gegliederten Bein äquivalent wäre, und dann die Schwingung des Beins mit der Pendelbewegung dieses Modells zu vergleichen. Damit ein derartiges Pendel an Stelle des Beins gesetzt werden könnte, würde nicht nur erforderlich sein, daß die Gelenke desselben den drei Hauptgelenken der unteren Extremität gleich gebaut wären, sondern daß auch die drei Teile des Pendels in Bezug auf Längenausdehnung, Schwerpunktslage und Trägheitsmomente mit den entsprechenden Abschnitten des Beins genau übereinstimmten. Diese Forderungen ließen sich sehr wohl erfüllen. Zum Zwecke der empirischen Ableitung und Demonstration der Wirkung von Muskeln des Armes habe ich seiner Zeit ein derartiges Gelenkmodell, welches dem im Ellbogengelenk gegliederten Arm mechanisch vollkommen äquivalent ist, wirklich herstellen lassen.[1]) Mit einem auf entsprechende Weise gebauten Modell der unteren Extremität könnte man nun auf empirischem Wege nachweisen, ob die Schwingungsbewegung des Beins beim Gehen als reine Pendelschwingung aufzufassen ist oder nicht. Man brauchte zu diesem Zwecke nur die Pendelschwingung des Modells in genau gleicher Weise wie seiner Zeit die Bewegungen des menschlichen Ganges mit Hilfe der zweiseitigen Chronophotographie zu registrieren und auf ein räumliches Koordinatensystem zu beziehen, und würde dann ohne weiteres erkennen, ob und in wie weit die Schwingung des Beins von der Bewegung dieses Pendels abweicht.

Der praktischen Ausführung dieser Methode stellen sich jedoch beträchtliche Schwierigkeiten entgegen. Würde es sich um die Schwingung eines Pendels mit fixiertem Aufhängepunkt handeln, so wäre der Versuch leicht durchzuführen. Beim Gehen befindet sich aber der Mittelpunkt des Hüftgelenks selbst in Bewegung, und zwar durchaus nicht in geradliniger und gleich-

---

1) Vgl. meine Beiträge zu einer Muskeldynamik, I. Abhdlg. der Königl. Sächs. Ges. d. Wiss. Bd. XXII Nr. II.

förmiger, sondern in krummliniger, zum Teil beschleunigter, zum Teil verzögerter Bewegung. Hierdurch gestaltet sich die Schwingung des Pendels ganz anders als bei ruhendem Aufhängepunkt. Wollte man daher das Modell so bewegen, daß es möglich wäre, auf dem Wege des Vergleichs die Frage nach der Pendelschwingung des Beins zu lösen, so müßte man dem Aufhängepunkt desselben genau die Bewegung des Hüftgelenkmittelpunktes in der Periode des Schwingens erteilen. Dies läßt sich aber exakt nur schwer ausführen, abgesehen davon, daß es so wie so erst einer eingehenden Untersuchung bedarf, um diese Bewegung des Hüftgelenkmittelpunktes abzuleiten.

Aus den angegebenen Gründen genügt es also zur Entscheidung der Frage nach der Pendelschwingung nicht, daß durch die chronophotographische Aufnahme des menschlichen Ganges eine große Anzahl aufeinanderfolgender Bewegungsphasen des schwingenden Beins bestimmt worden ist. Man muß sich hierzu vielmehr mit Hilfe der empirisch gewonnenen Daten eine sehr eingehende Kenntnis der Kinematik des schwingenden Beins verschaffen. Ohne eine genaue empirische Unterlage lassen sich derartige Fragen eben nicht entscheiden. Mit theoretischen Spekulationen allein ist noch nichts Sicheres erreicht.

Dies zeigt sich am besten an den Annahmen, welche die Brüder WEBER über Einzelheiten im Verlaufe der Gehbewegungen machen mußten, sobald ihre Hilfsmittel nicht ausreichten, für dieselben empirische Belege zu erbringen. Ein großer Teil derselben hat sich als unzutreffend herausgestellt, wie schon im III. Teile dieser Untersuchungen über den Gang des Menschen ausführlich dargelegt worden ist.

Ähnlich verhält es sich auch mit den Angaben von H. VON MEYER. Denn dieselben stützen sich überhaupt nicht auf Messungen, welche an gehenden Individuen angestellt worden sind, sondern sind fast ausschließlich Ergebnisse theoretischer Betrachtungen. Die Folge davon ist, daß sie mit den Tatsachen, welche eine genaue Registrierung des Bewegungsvorganges aufgedeckt hat, vielfach in direktem Widerspruch stehen. Um nur ein Beispiel anzuführen, hält es H. VON MEYER aus theoretischen Gründen für notwendig, daß das hintere Bein vor dem Beginn seiner Schwingungsperiode so lange mit dem Fußboden in Berührung bleibt, bis die Schwerlinie in die Ferse des vorderen Fußes fällt. Er

sagt[1]): „Das tragende Bein berührt mit seiner Fußsohle den Boden, ehe noch in der Vorwärtsbewegung der Schwerpnnkt so weit nach vornen gerückt ist, daß er über der von der Sohle berührten Bodenfläche wäre; die Schwerlinie fällt also noch hinter dem aufgesetzten Fuße herunter und das jetzt hintere (stemmende) Bein muß fürs erste noch helfen, den Schwerpunkt zu unterstützen; die Schwere wird also jetzt von *beiden* Beinen getragen. Damit nun aber das hintere Bein vom Boden gelöst und vorgesetzt werden könne, ist es notwendig, daß vorher die Schwere ganz dem aufgesetzten (tragenden) Beine übergeben werde; — dieses aber ist nur dadurch möglich, daß diesem letzteren in dem Fußgelenke eine solche Bewegung gegeben wird, daß die Schwerlinie zuletzt in die Ferse fällt." — — „Wenn die Schwere dem tragenden Fuße übergeben ist, dann kann das hintere Bein von dem Boden gelöst und schwingend nach vornen geführt werden."

In Wirklichkeit löst sich das schwingende Bein vom Boden ab, lange bevor der Gesamtschwerpunkt bis über die Ferse des vorn aufgesetzten Fußes nach vorn gerückt ist; die Schwerlinie zog bei unserem Individuum zu Beginn der Schwingungsperiode abgerundet 25 cm hinter der Achse des oberen Sprunggelenks vorbei, wie man leicht *aus Tafel III des II. Teiles* dieser Untersuchung ablesen kann. Man braucht zu diesem Zwecke nur zu beachten, daß der rechte Fuß beim I. Versuch in der 25ten und beim II. Versuch in der 26ten Bewegungsphase den Boden verließ, um nach vorn zu schwingen; der Beginn der Schwingung des linken Beins fiel dagegen beim I. Versuch kurz nach der 12ten und beim II. Versuch zwischen die 13te und 14te Bewegungsphase, näher an der ersteren (vgl. die Tabelle 9 auf Seite 82 des II. Teils). Man sieht also, das Resultat der theoretischen Überlegung H. von Meyers ist, soweit es den Beginn der Schwingungsperiode betrifft, auch nicht einmal annähernd richtig.

Außerdem scheinen mir die Resultate der theoretischen Überlegungen H. von Meyers zuweilen nicht einmal eindeutig bestimmt zu sein. Denn auf der einen Seite spricht er die richtige Ansicht aus, daß der Schwerpunkt des Körpers eine Zeit lang nicht unterstützt ist, nachdem die Schwerlinie vor die Fußspitze des

---

1) H. Meyer, Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. Leipzig 1873. Seite 308.

Digitized by Google

allein auf dem Boden aufstehenden Beins gerückt ist; andererseits finde ich aber ganz deutlich die entgegengesetzte Ansicht vor, daß das schwingende Bein in demselben Moment sich vorn auf den Boden aufsetzen muß, in welchem die Schwerlinie vor die Fußspitze des anderen Beins tritt, damit der Schwerpunkt von nun an durch die beiden Füße gemeinsam unterstützt wird; als Unterstützungsfläche ist nämlich dann außer den Flächen, mit denen beide Füße aufstehen, bekanntlich der ganze Streifen des Fußbodens anzusehen, welcher sich zwischen den Füßen erstreckt. Ich vermag wenigstens folgende Stellen aus H. VON MEYERS Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes nur in diesem zweideutigen Sinne zu verstehen: „Ist der Hauptbogen (unter Hauptbogen versteht MEYER den vertikalen Bogen, welchen der Schwerpunkt des Körpers beschreibt, so lange das aufgesetzte Bein denselben direkt unterstützt) zu Ende geführt, so findet der Schwerpunkt keine Unterstützung mehr, und derselbe fällt in einer Kreislinie um den Fuß als Mittelpunkt nach vornen hinunter, bis das unterdessen aufgesetzte andere Bein den weiteren Fall hemmt. Dieser Fallbogen ist der *vordere Ergänzungsbogen*" (Seite 308). Ich kann diese Stelle nur so verstehen, daß der Schwerpunkt während des Fallens einige Zeit nicht unterstützt sein soll; hierauf deutet auch die MEYERSche Figur 40 auf Seite 309 hin, in welcher sich das schwingende Bein erst am Ende des vorderen Ergänzungsbogens *V* auf den Boden aufgesetzt findet. Außerdem sagt H. VON MEYER auf Seite 305 auch direkt, „daß der menschliche Gang vor dem Quadrupeden-Gange das Auszeichnende besitzt, daß bei ihm der Schwerpunkt nicht mit Notwendigkeit stets unterstützt ist". In direktem Widerspruch zu dieser Angabe stehen die folgenden Darlegungen von MEYER: „Die Zeit, in welcher das Vorsetzen (d. h. des hinteren Beins) geschieht, muß natürlich diejenige sein, in welcher auf dem tragenden Beine der Hauptbogen ausgeführt wird, denn in diesem Zeitraume allein ist die Schwere durch das tragende Bein so unterstützt, daß das andere Bein dafür entbehrt werden kann" (Seite 311). Und auf Seite 313 heißt es weiter: „Wenn nun die Gangbewegung dadurch zu stande kommt, daß abwechselnd auf dem einen und auf dem anderen Beine der Rumpf in einer bogenförmigen Bewegung nach vornen geführt wird, und wenn dabei vorübergehend der ganze Körper nur von dem tragenden Beine gestützt wird, so ist es auch not-

Digitized by Google

wendig, daß für diese Zeit die Schwerlinie in den Fuß dieses Beines fällt."

Wenn das letztere die unzweideutige Meinung von Meyer wäre, so würde sie wiederum mit den durch die Chronophotographie aufgedeckten Tatsachen in grellem Widerspruch stehen. Denn wenn das schwingende Bein sich vorn auf dem Boden aufsetzt, so ist in Wirklichkeit die Schwerlinie schon längst vor die Fußspitze getreten, so daß eine beträchtliche Zeit lang der Gesamtschwerpunkt wiederum tatsächlich ohne Unterstützung ist. Die Entfernung der Schwerlinie von der Fußspitze des aufstehenden Beins betrug bei unseren Versuchen im Moment des Aufsetzens des schwingenden Beins abgerundet 20 cm, wie man aus Tafel III des II. Teils unter Berücksichtigung der Angaben von Tafel 9 auf Seite 82 erkennt.

Aus diesen Beispielen erkennt man also, daß von H. von Meyer manches als „natürlich" und „notwendig" hingestellt wird, was in Wahrheit gar nicht zutrifft. Dieser Umstand erklärt es wohl auch zur Genüge, weshalb die Meyerschen Anschauungen in den gebräuchlichen Lehrbüchern der Physiologie nicht jene Berücksichtigung gefunden haben, die sie nach Ansicht von R. F. Fuchs[1]) verdienen. Von H. von Meyer ist an tatsächlichen Befunden nichts erbracht worden, was wesentlich über die Ergebnisse der von den Brüdern Weber angestellten Messungen hinausging. Der Bestand an sicheren Daten über den Gang des Menschen ist nach den letzteren erst von Carlet vergrößert worden, indem dieser zuerst mit neuen Mitteln viele der beim Gehen in Betracht kommenden Größen bestimmt und auch schon die Bewegung eines Punktes des menschlichen Körpers graphisch registriert hat. Es erscheint mir daher das Urteil, welches H. von Meyer über Carlets Untersuchungen fällt[2]), daß deren Ergebnisse höchst unbedeutend seien und in keinem Verhältnisse zu dem angewendeten Apparate stehen, und daß das meiste entweder nicht neu oder selbstverständlich sei, nicht ganz berechtigt. —

Der vorliegende V. Teil der Untersuchung über den Gang des Menschen wird sich nun hauptsächlich mit der rein kine-

1) R. F. Fuchs, der Gang des Menschen. Biologisches Zentralblatt Bd. XXI 1901, S. 719.

2) H. von Meyer, Die Mechanik des menschlichen Ganges. Biologisches Zentralblatt, Bd. I, 1881—1882, S. 435.

matischen Seite des Problems des von hinten nach vorn schwingenden Beines beschäftigen, um damit die Grundlagen zu schaffen für die Behandlung des kinetischen Problems, die in der Periode des Schwingens wirksamen Kräfte zu bestimmen. Diese letztere Aufgabe soll dann erst im VI. Teil ihre Erledigung finden. Immerhin muß aber auch schon in dem gegenwärtigen Teil in eingehender Weise untersucht werden, was für Kräfte in der Periode des Schwingens überhaupt in Frage kommen können, in welcher Weise dieselben die einzelnen Abschnitte des Beins in Drehung zu setzen bestrebt sind, und in welcher Beziehung sie zu den eintretenden Bewegungen des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes stehen. Diese Untersuchung muß deshalb der Bestimmung der rein kinematischen Größen vorausgehen, damit man weiß, worauf sich die kinematische Untersuchung zu erstrecken hat, beziehungsweise, worauf sie sich für den vorliegenden Zweck beschränken kann. Da sich herausstellt, daß nur die Kenntnis der Richtungen, Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen der Längsachsen und die Kenntnis der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Einzelschwerpunkte der drei Abschnitte des Beins für die successiven Phasen in der Periode des Schwingens erforderlich sind, so sollen diese Größen in zwei weiteren Abschnitten der Arbeit bestimmt werden, so weit das nicht, wie z. B. für den Fuß, schon früher geschehen ist.

Vorher soll aber in einem ersten Abschnitt der Arbeit noch einmal eingehend die Frage nach dem typischen Gang erörtert werden.

I. Über den typischen Wanderschritt.

Die Ansicht von H. von Meyer[1]), „daß es überhaupt gar keinen typischen Gang geben kann und daß das einzige Typische, was sich in dem Gange der verschiedenen Individuen erkennen läßt, das ist, daß alle sich mit Hilfe der Beine vorwärts bewegen", kann, in gleicher Weise wie so manche andere Angaben von ihm, nur als ein durch keine Tatsachen gestütztes Resultat theoretischer Spekulation aufgefaßt werden. Natürlich kann der Mensch in sehr verschiedener Weise seine Beine verwenden, um sich von der Stelle zu bewegen. Er kann langsam gehen, und er kann bis zu einer gewissen Grenze seine Schritte beschleunigen; er kann große Schritte machen, und er kann die Füße dicht voreinander setzen; er kann die Füße zuerst mit den Hacken oder wie beim Parademarsch des Militärs gleich mit der ganzen Sohle auf den Fußboden aufsetzen, oder er kann überhaupt beim Gehen nur die Zehen mit dem Boden in Berührung bringen; er vermag mit schlenderndem Gange im Zimmer auf und ab zu gehen, oder in den Straßen der Großstadt die Zeit totzuschlagen, oder er kann bestrebt sein, in affektierter Weise seinem Gang den Charakter des Zierlichen, Schwebenden, Tänzelnden zu verleihen. Alles dies wird niemand bestreiten. Wenn man dagegen sich auf der Wanderung befindet, um ohne unnötigen Aufenthalt und ohne sich übermäßig zu ermüden, im Laufe des Tages eine möglichst große Strecke zurückzulegen, so wird man von selbst eine gewisse Norm des Ganges dabei einhalten und alles Gekünstelte und infolgedessen vorzeitig Ermüdende zu vermeiden suchen. Es hat gewiß jeder schon an sich selbst erfahren, daß der Schlendergang durch die Straßen der Stadt, auch wenn man von dem Einfluß der härteren Bodenfläche absieht, viel weniger lange ausgehalten

1) Biologisches Zentralblatt. Bd. I. S. 402.

Digitized by Google

wird als ein rüstiges Vorwärtsschreiten auf der Landstraße. Andererseits ist es auch eine bekannte Tatsache, daß der Parademarsch, der Gang auf den Zehen oder der Gang mit absichtlich verkürzten Schritten für die Dauer in hohem Grade ermüdend ist, sodaß es niemandem einfallen wird, die eine oder andere dieser Arten des Ganges bei einer Fußtour anzunehmen. Die Damen vergessen es auf der Fußwanderung im Gebirge, daß es für unschön gilt, große Schritte zu machen und halten von ihrer Kleidung alles fern, was sie an dem freien Fortschreiten behindern könnte. Die Soldaten denken auf Manövermärschen, wo es sich hauptsächlich darum handelt, möglichst große Ausdauer beim Gehen zu betätigen, gar nicht daran, einen dem Parademarsch auch nur ähnlichen Schritt anzunehmen. Ich habe während verschiedener Militärübungen, die ich abzuleisten hatte, und die zum Teil in die Manöverzeit fielen, Gelegenheit gehabt, viele hunderte von Soldaten auf den Märschen zu beobachten, nachdem mir die genaue Aufeinanderfolge der einzelnen Stellungen des Körpers beim rüstigen Vorwärtsschreiten durch unsere chronophotographischen Aufnahmen schon bekannt geworden war. Ich habe dabei niemals einen wahrnehmbaren Unterschied in der Gangart des marschierenden Soldaten von der eines Fußtouristen konstatieren können. Es hat sich im Gegenteil herausgestellt, daß individuelle Verschiedenheiten des Gehens, welche beim langsamen Gang in den Straßen der Garnison deutlich in die Augen sprangen, beim Marschieren auf der Landstraße zurücktraten. Die Folge und Art der Bewegungen schien bei allen die gleiche zu sein und mit der Aufeinanderfolge der einzelnen Bewegungsphasen, wie wir sie bei der chronophotographischen Aufnahme des Ganges gefunden hatten, übereinzustimmen, so weit sich das eben durch die bloße Beobachtung konstatieren läßt.

Selbst die Unterschiede im Körperbau, welche bei den Individuen verschiedener Nationen im allgemeinen zu Tage treten, scheinen keinen wesentlichen Einfluß auf die Bewegungen des Vorwärtsschreitens zu haben. Denn die vor unseren Versuchen gewonnenen chronophotographischen Aufnahmen von MAREY zeigen keine nennenswerten Unterschiede gegenüber den unsrigen. Man vergleiche beispielsweise die in den Comptes rendus des Jahres 1884 (Bd. 98, S. 1218) abgedruckte Serie von über 40 Bewegungsphasen eines gehenden Menschen, welche hier als Figur 1 wiedergegeben

Digitized by Google

ist, mit den im I. Teile dieser Untersuchungsreihe über den Gang des Menschen reproduzierten photographischen Aufnahmen oder mit der aus jenen Aufnahmen abgeleiteten Figur 8 auf Seite 382 der vorliegenden Arbeit, und man wird finden, daß auch hier, wo man bei der Vergleichung doch nicht auf den bloßen Augenschein angewiesen ist, im wesentlichen Übereinstimmung zwischen beiden Bewegungsfolgen vorhanden ist. Die hervortretenden Unterschiede sind nur quantitativer Natur, indem z. B. bei dem MAREYschen Individuum die vertikalen Schwankungen relativ größer sind als bei dem unsrigen. Die Folge und Art der Bewegungen ist aber

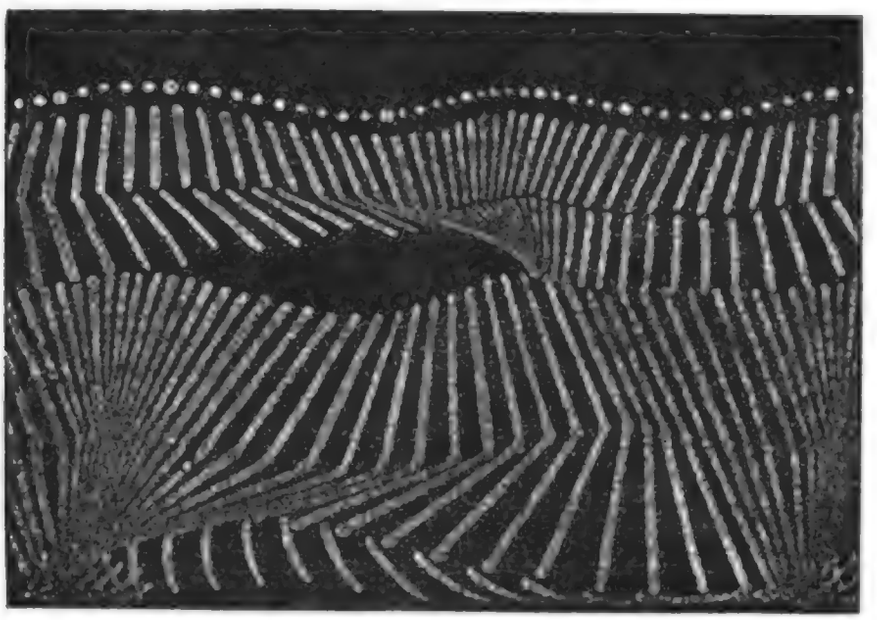


Fig. 1.

bei beiden die gleiche. Man hätte beispielsweise fast wörtlich die im III. Teil der vorliegenden Untersuchung gegebene Beschreibung der Bewegung des Beins auch aus der MAREYschen Serienaufnahme ableiten können, so weit sie sich auf die eine Extremität beschränkt und nicht auf das gleichzeitige Verhalten der im MAREYschen Bilde nicht sichtbaren anderen Extremität Rücksicht nimmt.

Um nur das auf die Schwingungsbewegung des Beins bezügliche Resultat anzugeben, erkennt man aus der MAREYschen Aufnahme, daß das Bein zu Anfang dieser Periode stark rückwärts gestellt ist, sodaß sowohl die Längsachse des Oberschenkels wie die des Unterschenkels nach hinten gegen die Vertikale geneigt ist. Der

Digitized by Google

Winkel mit der Vertikalen ist jedoch beim Unterschenkel größer als beim Oberschenkel, da das Kniegelenk sich nicht in Streckstellung befindet, sondern etwas gebeugt ist. Der Fuß berührt noch mit seiner äußersten Spitze den Boden. Der Oberschenkel dreht sich nun zunächst nach vorn, bewegt sich aber später in dieser Projektion auf die Gangebene deutlich wahrnehmbar fast bis zum Moment des Aufsetzens des Fußes auf dem Boden parallel fort. Daß er kurz vor dem Aufsetzen nochmals kurze Zeit sich nach vorn dreht, läßt sich bei der Kleinheit und geringen Schärfe des MAREYschen Bildes nicht mit Sicherheit konstatieren. Diese Tatsache konnte man aber auch aus unseren Aufnahmen nicht direkt erschließen; sie ergab sich erst aus der Berechnung der Winkel, welche die Oberschenkellängsachse in den successiven Stellungen des Beins mit der Vertikalen bildet. Der Unterschenkel dreht sich bei MAREY, genau so wie bei uns, zu Anfang der Periode des Schwingens zunächst rückwärts. Diese Rückwärtsdrehung dauert auch hier nahezu bis zu dem Moment, in welchem die Längsachse des Oberschenkels die Vertikale passiert, dann beginnt eine Drehung des Unterschenkels nach vorn, welche die gleichzeitige Vorwärtsdrehung des Oberschenkels an Geschwindigkeit bedeutend übertrifft. Erst kurz vor dem Aufsetzen des Fußes kehrt der Unterschenkel die Richtung seiner Drehung wieder um. Infolge des verschiedenen Verhaltens von Oberschenkel und Unterschenkel während der Periode des Schwingens findet im ersten Teile der letzteren Beugung des Kniegelenks statt. Die größte Beugestellung ist erst erreicht, nachdem der Oberschenkel über die vertikale Stellung hinaus etwas nach vorn gedreht erscheint. Darauf findet ziemlich energische Streckung des Kniegelenkes statt, welche solange andauert, bis der Unterschenkel kurz vor dem Aufsetzen des Beins seinen Drehungssinn umkehrt. Zuletzt tritt dann wieder eine geringe Beugung ein, so daß das Bein sich nicht mit gestrecktem, sondern etwas gebeugtem Kniegelenk auf den Boden aufsetzt.

Man sieht also, daß die Bewegungsart des schwingenden Beins bei dem MAREYschen Individuum mit der bei unserem Versuchsindividuum übereinstimmt. Etwaige Unterschiede, die sich bei einer genauen Bestimmung der Winkel, welche die Längsachsen vom Oberschenkel und Unterschenkel mit der Vertikalen bilden, herausstellen würden, könnten sich daher nur auf die ex-

tremen Werte dieser Winkel beziehen; sie wären demnach als quantitative aufzufassen. Auch ohne genaue Winkelmessung kann man z. B. aus den Serienaufnahmen von Marey erkennen, daß die Streckung des Knies vor dem Aufsetzen des Beins nicht wie bei unserem Individuum bis zur extremen Streckstellung ausgeführt worden ist; denn bei Marey gelangt die Längsachse des Unterschenkels nur bis zur Verlängerung der Längsachse des Oberschenkels, während sie bei uns noch etwas darüber hinaus gedreht erscheint, so daß beide Längsachsen einen nach vorn offenen Winkel miteinander bilden. Dagegen finden sich bei Marey ebenso wie bei uns in der Periode des Aufstehens solche Stellungen des Beins vor, bei welchen die Längsachsen des Ober- und Unterschenkels einen nach vorn offenen Winkel bilden. Solche Stellungen sind durchaus nicht unmöglich, wie man angenommen hat[1]) in Nichtberücksichtigung des Umstandes, daß die Achse des Kniegelenks bei äußerster Streckstellung des Beins hinter der Verbindungslinie vom Hüft- und Fußgelenkmittelpunkt liegt.

Nicht geringere Übereinstimmung der Bewegungsart wie in der Periode des Schwingens findet man, wenn man die successiven Stellungen des Beins in der Periode des Aufstehens oder die sämtlichen Bewegungsphasen der oberen Extremität in der Mareyschen Aufnahme mit den unsrigen vergleicht. Zu dem gleichen Resultat gelangt man auch bei Betrachtung anderer Serienaufnahmen von Marey, z. B. der, die sich in den Comptes rendus aus dem Jahre 1887 (Bd. 105, S. 149) reproduziert findet.

Man sieht also, daß die Mareyschen Individuen sich im wesentlichen nach dem gleichen Typus bewegt haben als das unsrige — ein weiterer Beleg dafür, daß man sehr wohl eine Norm des Ganges anzunehmen berechtigt ist. Untersucht und analysiert doch auch H. von Meyer selbst die „gebräuchliche Art des Ganges", die er auch als die Gangbewegung schildert, „die als die natürlichste und leichteste die allgemeinste Verbreitung besitzt, unbeschadet natürlich individueller Modifikationen."[2])

---

1) Vgl. z. B. E. Jendrassik, Klinische Beiträge zum Studium der normalen und pathologischen Gangarten. Deutsches Archiv für klinische Medizin. Bd. LXX. Seite 87.

2) Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. S. 332 und 330.

Digitized by Google

Das erste MAREYsche Versuchsindividuum ist voraussichtlich während der chronophotographischen Aufnahme auch so gegangen, wie es dem rüstigen Vorwärtsschreiten auf der Landstraße entsprechen würde. Darauf weisen sowohl die Schrittlänge als auch die Schrittdauer hin. MAREY gibt in der oben erwähnten Note[1]) als Länge eines Doppelschrittes 1 m 75 cm und als Dauer desselben gerade 1 sec. an. Die einfache Schrittlänge betrug demnach 87,5 cm und die Dauer eines einfachen Schrittes 0,5 sec., sodaß also auf die Minute 120 Schritt kamen. Leider ist von MAREY die Körperlänge seines ersten Versuchsindividuums nicht angegeben worden. Aus dem Original des Serienbildes kann man aber unter Berücksichtigung der Schrittlänge von 87,5 cm abmessen, daß die höchste Erhebung des Schultergelenkmittelpunktes über dem Fußboden ca. 126 cm betrug. Da bei unserem Individuum die Schultergelenkmittelpunkte sich bis ca. 135 cm von dem Boden beim Gehen entfernt haben, so kann man daraus schließen, daß die Körperlänge des MAREYschen Individuums jedenfalls noch kleiner war als die des unsrigen. Damit stimmt auch die Tatsache überein, daß bei unserem Individuum die Hüftgelenkmittelpunkte sich bis 88 cm, bei dem MAREYschen dagegen nur bis ca. 83 cm vom Fußboden während des Gehens entfernt haben. Hieraus geht aber hervor, daß die Schrittlänge des MAREYschen Individuums nicht nur absolut, sondern vor allen Dingen auch relativ zur Körpergröße desselben viel größer war als bei unserem Individuum. Es ist eben eine Schrittlänge von 80 cm und mehr für den Wanderschritt durchaus normal, wie sich auch aus den im folgenden mitgeteilten Versuchen ergibt.

Schon im Jahre 1889, noch bevor wir an die chronophotographische Registrierung der Gehbewegung gingen, habe ich gemeinsam mit W. BRAUNE an zahlreichen normal gebauten Individuen Messungen über die Schrittlänge, Schrittdauer, Fortpflanzungsgeschwindigkeit u. a. beim Gehen angestellt. Dabei haben wir hauptsächlich unser Augenmerk auf den Gang gerichtet, welchen ein Mensch unwillkürlich annimmt, wenn er ausdauernd, aber auch ohne unnötigen Aufenthalt, auf der Landstraße von Ort zu Ort wandern will, und der, wie schon oben, im folgenden

---

1) MAREY, Analyse cinématique de la marche. Comptes rendus, tome 98, 1884, pag. 1218.

immer kurz als *Wanderschritt* bezeichnet werden soll. Zu diesem Zwecke hatten wir auf einem wenig begangenen Waldwege in der Nähe von Leipzig eine Strecke von genau 1 km abgemessen. Diese Strecke ließen wir von vielen jungen Männern hin und zurück durchlaufen und von denselben dabei gleichzeitig die Schritte zählen. Die Abgangszeit und der Moment der Rückkehr zum Ausgangspunkt wurden von uns selbst auf einer genau gehenden Sekundenuhr abgelesen und notiert, um den Gehenden nicht weiter als mit dem Abzählen seiner Schritte zu beschäftigen. Wir haben es peinlich vermieden, dem jeweiligen Versuchsindividuum ein bestimmtes Tempo oder eine bestimmte Schrittlänge vorzuschreiben, oder auch nur anzuempfehlen. Wir haben vielmehr einem jeden ganz besonders eingeschärft, er möchte ganz ungezwungen, und zwar so gehen, wie er es auf einer Fußwanderung tun würde.

Für die Versuche waren uns vom Königlich Sächsischen 8. Infanterieregiment Prinz Johann Georg Nr. 107 in dankenswerter Weise zahlreiche Soldaten zur Verfügung gestellt worden. An verschiedenen Stellen des Weges hatten wir Unteroffiziere postiert, welche das richtige Abzählen der Schritte und das sofortige Umkehren am Ende der Kilometerstrecke kontrollierten. Nach den Versuchen wurde in einem geschlossenen Raum von jedem sowohl die Körperlänge als auch die Höhe des durch die Haut fühlbaren Trochanter major femoris vom Fußboden bei gerader aufrechter Stellung im unbekleideten Zustande gemessen.

Es sollen nun im folgenden die Resultate der zahlreichen Messungen auf Grund des damals aufgenommenen und bis jetzt noch nicht veröffentlichten Protokolls in der zeitlichen Reihenfolge ohne Auswahl angeführt werden, einmal weil sich aus denselben gewisse für den typischen Wanderschritt charakteristische Konstanten gewinnen lassen, und dann auch, weil aus denselben noch zwingender als aus der Vergleichung der Schrittdauer unseres Individuums mit dem des MAREYschen hervorgeht, wie unberechtigt der von verschiedenen Seiten, so z. B. von JENDRASSIK[1]) gemachte Einwand gegen unsere Versuche ist, daß unser Individuum während der chronophotographischen Aufnahme unnatürlich große und schnelle Schritte gemacht hätte.

---

1) E. JENDRASSIK, a. a. O. S. 87.

Digitized by Google

Wir hatten zwar die Versuche nicht allein auf den Wanderschritt beschränkt, sondern die Leute auch einmal ziemlich langsam und ein anderes Mal so schnell wie möglich gehen lassen, um die Abhängigkeit der Schrittdauer und Schrittlänge von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit festzustellen. Wir hatten ferner am Ende der Durchwanderung der 2 km bei jedem Individuum den Puls gezählt. Die Resultate dieser Versuchsreihen sollen aber hier noch nicht mit veröffentlicht werden, weil sie für den vorliegenden Zweck von keiner Bedeutung sind. Es soll durch die Mitteilung der Versuchsresultate an dieser Stelle nur der Beweis erbracht werden, daß beim Wanderschritt im allgemeinen eine gewisse Gesetzmäßigkeit in der Schrittlänge und Schrittdauer vorhanden ist, und daß vor allen Dingen die Schrittlänge auch bei kleineren Individuen die Größe von 80 cm nicht nur erreicht, sondern in den meisten Fällen überschreitet. Um aber bei eventueller späterer Mitteilung der Ergebnisse der mit denselben Personen angestellten anderen Versuchsreihen den Vergleich mit den in der folgenden Tabelle 1 niedergelegten Werten zu ermöglichen, sind die an und für sich gleichgültigen Namen der einzelnen Soldaten mit angeführt worden.

Damit die Tabelle nicht zu sehr mit Zahlen belastet wird, sollen auch nicht die auf die Strecke von 2 km kommenden Schrittzahlen und die zur Zurücklegung derselben gebrauchten Zeiten, sondern nur die aus denselben durch einfache Rechnung gewonnene durchschnittliche Länge und Dauer eines einzelnen Schrittes, ferner die daraus abgeleitete Anzahl der Schritte in einer Minute und die mittlere Ganggeschwindigkeit mitgeteilt werden. Außerdem finden sich nur noch bei jeder Versuchsperson die ganze Körperlänge und die kurz als Beinlänge bezeichnete Entfernung des Trochanter major femoris vom Fußboden beim aufrechten Stehen angegeben. Das durchschnittliche Lebensalter der einzelnen Soldaten betrug 21 Jahre. Daß es sich um normal gebaute Individuen handelte, ist bei den Anforderungen, welche das Militär an den Körperbau der Rekruten stellt, selbstverständlich. Die Versuche wurden an verschiedenen Tagen ausgeführt. An einem Versuchstage hat jedes Individuum die Strecke von 2 km nur zweimal zurückgelegt. Da aber einige Soldaten an zwei Versuchstagen erschienen waren, so findet man bei einzelnen die Resultate von vier Versuchen mitgeteilt.

Digitized by Google

Tabelle 1. **Versuche zur Bestimmung der Länge und Dauer des typischen Wanderschrittes,**

angestellt an Soldaten des Königlich Sächsischen 8. Infanterie-Regiments Prinz Johann Georg Nr. 107 im Oktober des Jahres 1889.

Nr.	Name	Körperlänge in cm	Beinlänge in cm	Länge eines einfachen Schrittes in cm	Dauer eines einfachen Schrittes in sec	Anzahl der Schritte in der Minute	Mittlere Ganggeschwindigkeit in $cm\,sec^{-1}$
1.	Gefreiter Preuß .	170,5	93,0	84,2	0,479	125	175,5
				83,8	0,477	125	175,5
2.	Körner	166,0	88,0	82,4	0,475	126	173,2
				83,7	0,448	134	186,1
				81,6	0,472	127	173,0
				80,6	0,472	127	171,0
3.	Nietsch	183,0	98,0	104,6	0,510	117	205,0
				104,3	0,506	118	206,2
4.	Gefr. Skobel ...	166,5	88,5	84,4	0,487	123	173,0
				83,9	0,484	124	173,0
5.	Steisch	166,0	88,5	91,3	0,494	121	184,9
				89,6	0,500	120	179,2
6.	Gefr. Berger ...	161,5	87,0	79,6	0,483	124	165,0
				79,6	0,479	125	166,6
7.	Gefr. Hanns....	169,0	91,0	84,3	0,500	120	168,5
				83,8	0,514	117	163,1
8.	Gefr. Hannspach	167,0	90,5	86,9	0,471	127	184,1
				84,5	0,472	127	178,8
				85,7	0,470	127	182,2
				85,1	0,497	121	171,2
9.	Küntzer	167,0	88,5	85,9	0,497	121	173,2
				84,9	0,504	119	168,3
10.	Gefr. Scholl....	164,0	88,0	84,1	0,475	126	177,0
				81,6	0,465	129	175,8
11.	Schmeda	177,0	94,5	91,3	0,499	120	182,5
				90,9	0,511	117	178,0
12.	Kurth	172,0	94,5	84,4	0,512	117	165,1
				84,1	0,501	120	167,8
13.	Däbernitz.....	169,5	90,5	80,3	0,506	119	158,8
				80,5	0,498	120	161,2
				80,9	0,478	125	169,3
				80,7	0,471	127	171,2
14.	Richter	167,0	89,0	79,4	0,493	122	160,5
				78,2	0,485	124	161,2
15.	Keller	165,0	89,0	83,7	0,504	119	165,6
				83,2	0,501	120	166,0

Digitized by Google

Nr.	Name	Körperlänge in cm	Beinlänge in cm	Länge eines einfachen Schrittes in cm	Dauer eines einfachen Schrittes in sec	Anzahl der Schritte in der Minute	Mittlere Ganggeschwindigkeit in cm sec^{-1}
16.	Krause	161,5	88,5	84,4	0,504	119	167,3
				84,4	0,507	118	166,6
17.	Müller I	163,0	85,5	82,3	0,529	113	155,2
				83,4	0,514	117	162,1
18.	Schlotte	164,5	84,0	80,9	0,495	121	163,8
				79,6	0,492	122	162,0
19.	Weber	159,5	83,5	81,2	0,508	118	159,6
				80,9	0,519	116	155,8
20.	Leipnitz	159,5	80,5	80,7	0,501	120	161,2
				79,7	0,499	120	159,6
21.	Hermann	173,0	92,0	84,9	0,508	118	167,1
				84,4	0,503	119	167,6
22.	Winter	170,5	90,5	86,5	0,492	122	176,0
				85,6	0,494	121	173,3
23.	Heidel	166,0	89,0	81,8	0,471	127	173,8
				80,3	9,482	125	166,7
24.	Müller II	162,0	88,5	89,0	0,485	124	183,5
				93,8	0,568	106	165,3
25.	Gefr. Berge	162,0	88,0	85,2	0,507	118	167,8
				84,6	0,504	119	168,0
26.	Buch	167,0	86,0	86,4	0,475	126	182,2
				86,8	0,467	129	185,9
27.	Heidrich	167,5	85,5	85,9	0,476	126	180,6
				86,6	0,464	129	186,6
28.	Gefr. Paul	170,0	92,0	86,4	0,545	110	158,5
				88,5	0,537	112	165,0
29.	Clemens	168,5	92,0	79,6	0,519	116	153,3
				80,9	0,528	114	153,3
30.	Friedrich	167,0	92,0	80,2	0,501	120	160,2
				80,4	0,501	120	160,3
				81,4	0,487	123	167,0
				81,3	0,472	127	172,0
31.	Thalmann	169,5	91,5	83,5	0,524	115	159,2
				82,4	0,516	116	159,7
32.	Hößler	173,5	91,0	88,3	0,518	116	170,6
				88,2	0,518	116	170,0
33.	Hofmann I	169,0	90,0	84,2	0,526	114	160,2
				83,7	0,529	113	158,2
34.	Punk	171,0	89,5	82,5	0,518	116	159,1
				83,9	0,525	114	159,6

Nr.	Name	Körperlänge in cm	Beinlänge in cm	Länge eines einfachen Schrittes in cm	Dauer eines einfachen Schrittes in sec	Anzahl der Schritte in der Minute	Mittlere Ganggeschwindigkeit in cm sec^{-1}
35.	Feodoro	164,0	89,5	87,7	0,507	118	173,1
				87,5	0,506	119	173,0
36.	Graiche	167,0	88,5	86,0	0,531	113	162,2
				85,7	0,494	121	173,8
37.	Wächtler	160,0	84,0	85,6	0,520	115	164,6
				82,9	0,493	122	168,2
				82,8	0,494	121	167,3
				83,4	0,491	122	169,8
38.	Welsch	161,5	83,0	83,0	0,477	126	173,9
				82,9	0,474	126	174,7
				82,3	0,479	125	171,6
				82,4	0,478	125	172,4
39.	Veit	159,0	81,0	80,8	0,483	124	167,0
				80,0	0,485	124	164,8
40.	Nollau	157,5	81,0	80,3	0,495	121	162,0
				81,3	0,498	120	163,2
41.	Schindler	172,0	94,0	92,7	0,564	106	164,4
				92,2	0,546	110	169,0
42.	Schellbach	172,0	93,0	88,6	0,524	115	169,1
				87,4	0,507	118	172,3
43.	Reichstein	171,0	89,5	85,9	0,508	118	169,5
				85,7	0,503	119	170,5
44.	Naumann	170,5	89,0	83,8	0,484	124	173,1
				86,2	0,486	123	177,4
45.	Scheibe	167,0	88,5	85,8	0,481	125	178,6
				85,4	0,480	125	178,0
46.	Tippmann	171,0	88,0	91,7	0,464	129	197,9
				90,0	0,463	130	194,3
47.	Richter	165,5	88,0	82,5	0,512	117	161,2
				82,3	0,511	118	161,1
48.	Kunze	163,5	87,5	95,8	0,551	109	174,0
				94,8	0,541	111	175,1
49.	Lippold	168,5	87,0	86,6	0,480	125	180,2
				87,2	0,474	127	184,0
50.	Landschreiber ..	159,5	84,5	83,6	0,515	117	162,5
				84,6	0,509	118	166,0
				85,3	0,481	125	177,5
				85,4	0,472	127	181,1
51.	Wiczorek	164,5	83,5	85,8	0,471	127	182,0
				84,4	0,467	129	181,0
52.	Kaiser	161,0	82,5	84,3	0,491	122	171,5
				84,3	0,477	126	176,8

Nr.	Name	Körperlänge in cm	Beinlänge in cm	Länge eines einfachen Schrittes in cm	Dauer eines einfachen Schrittes in sec	Anzahl der Schritte in der Minute	Mittlere Ganggeschwindigkeit in cm sec^{-1}
53.	Göllnitz	163,5	86,5	84,2	0,503	119	167,2
				83,9	0,522	115	160,7
54.	Weinreich	164,5	85,0	83,8	0,493	122	170,3
				83,6	0,501	120	166,8
55.	Gefr. Schöne ...	171,5	91,5	93,4	0,532	113	175,7
				93,3	0,497	121	187,9
56.	Herdegen	170,0	90,0	85,4	0,497	121	171,9
				82,8	0,505	119	163,9
57.	Bimberg	171,0	89,0	88,7	0,522	115	170,1
				86,6	0,520	115	166,7
58.	Schröder	170,0	92,0	80,4	0,507	118	158,8
				81,2	0,516	116	157,3
59.	Lippmann	166,0	88,5	77,8	0,507	118	153,2
				77,3	0,477	126	161,8
60.	Knorr	164,0	88,0	81,0	0,506	119	160,0
				79,5	0,483	124	164,7
61.	Riechel	163,0	89,0	80,5	0,517	116	155,7
				79,8	0,525	114	152,0
62.	Zwick	163,0	85,5	79,2	0,493	122	160,6
				79,3	0,488	123	162,0
63.	Bauer	161,5	85,0	78,4	0,468	128	167,5
				78,5	0,463	129	169,7
64.	Hentschke	159,5	86,0	83,3	0,472	127	176,7
				82,9	0,476	126	174,2
65.	Zimmermann ...	160,5	83,5	80,7	0,458	131	176,1
				80,0	0,468	128	171,2
66.	Ibener	160,5	81,5	77,0	0,446	135	172,4
				80,8	0,478	125	168,8
67.	Steinbach.....	159,0	79,0	78,4	0,461	130	170,1
				78,4	0,505	119	155,2
68.	Winzer	157,5	81,5	89,4	0,517	116	172,8
				89,3	0,525	114	170,1
69.	Rost	155,5	79,0	80,7	0,454	132	177,6
				79,8	0,451	133	177,0
70.	Gefr. Kluge	171,5	90,5	90,6	0,471	127	192,3
				90,4	0,451	133	200,6
71.	Heinecke	171,5	94,0	85,9	0,473	127	181,9
				85,9	0,480	125	178,8
72.	Kettenbeil	169,0	93,0	88,7	0,503	119	176,3
				88,4	0,491	122	180,1

Digitized by Google

Nr.	Name	Körperlänge in cm	Beinlänge in cm	Länge eines einfachen Schrittes in cm	Dauer eines einfachen Schrittes in sec	Anzahl der Schritte in der Minute	Mittlere Ganggeschwindigkeit in cm sec^{-1}
73.	Gefr. Wiedner . .	171,0	92,0	84,9	0,481	125	176,8
				85,3	0,483	124	176,3
74.	Gefr. Lupitz . . .	172,0	92,5	88,1	0,512	117	172,0
				84,4	0,500	120	168,8
75.	Leber	165,0	84,0	83,8	0,476	126	176,1
				84,7	0,485	124	174,6
76.	Gentsch	169,5	89,0	87,9	0,495	121	177,2
				87,4	0,483	124	181,5
77.	Förster	168,5	90,5	88,4	0,519	116	170,2
				87,7	0,532	113	165,0
78.	Beesemann	166,5	90,5	88,9	0,526	114	169,2
				82,6	0,479	125	172,5
79.	Wutz	167,5	88,5	93,6	0,531	113	176,2
				92,9	0,503	119	184,7
80.	Schomantzki . . .	164,5	85,5	80,7	0,473	127	170,3
				81,3	0,458	131	177,1
81.	Böttcher	167,5	89,5	86,3	0,483	124	178,5
				85,6	0,497	121	172,5
82.	Gefr. Zahlaus . .	165,0	88,0	83,3	0,483	124	172,5
				89,6	0,532	113	168,3
83.	Gefr. Wieland . .	166,5	89,5	83,6	0,463	130	180,4
				82,8	0,463	130	178,5
84.	Näbe	159,5	86,0	80,2	0,466	129	172,1
				80,3	0,465	129	172,8
85.	Pippich	165,5	89,5	85,9	0,493	122	174,6
				85,3	0,460	130	184,8
86.	Bowenz	167,5	87,5	88,3	0,473	127	186,3
				88,4	0,501	120	176,5
87.	Grunicke	163,5	87,5	83,6	0,402	150	208,0
				82,2	0,453	132	181,5
88.	Putzenhardt	163,5	85,0	82,9	0,477	126	173,7
				83,0	0,464	129	178,6
89.	Geissler	159,5	84,0	83,2	0,460	130	180,8
				81,3	0,470	128	173,0
90.	Tambour Graf . .	164,0	86,0	84,9	0,477	126	178,0
				84,9	0,473	127	179,5
91.	Bässler	165,5	90,0	86,8	0,497	121	174,6
				86,3	0,490	122	176,0
92.	Tambour Pika . .	164,0	87,5	86,1	0,470	128	183,2
				85,2	0,468	128	181,8

Digitized by Google

Nr.	Name	Körperlänge in cm	Beinlänge in cm	Länge eines einfachen Schrittes in cm	Dauer eines einfachen Schrittes in sec	Anzahl der Schritte in der Minute	Mittlere Ganggeschwindigkeit in cm sec^{-1}
93.	Heinker	166,0	89,0	79,8	0,539	111	148,2
				81,8	0,511	117	160,0
94.	Schneiderheinze .	165,5	86,5	89,2	0,501	120	177,8
				88,4	0,483	124	182,8
95.	Boretzki	161,5	84,0	79,8	0,463	129	172,5
				79,9	0,471	128	169,6
96.	Breitling	161,0	85,0	85,7	0,493	122	174,0
				84,0	0,477	126	176,3
97.	Krause	160,0	83,5	86,5	0,486	123	178,0
				87,0	0,472	127	184,5
98.	Schwarz	159,5	82,5	83,4	0,461	130	181,0
				83,2	0,455	132	182,5
99.	Hoppe	160,5	82,5	83,3	0,482	124	173,0
				83,4	0,466	129	178,9
100.	Hoffmann	169,5	90,0	87,2	0,503	119	173,5
				87,1	0,499	120	174,8
101.	Bürckmann	162,5	85,5	85,2	0,452	133	188,5
				85,2	0,450	133	189,0
102.	Albrecht	162,5	84,5	88,0	0,494	122	178,3
				87,4	0,499	120	175,0
103.	Voigt	163,0	89,5	85,9	0,515	116	166,8
				86,2	0,515	116	167,2

Aus den Resultaten der 220 Gehversuche, welche mit 103 Soldaten angestellt worden sind, geht zunächst hervor, daß die durchschnittliche Länge des Wanderschrittes über 80 cm betrug. Denn nur in 22 Fällen war sie kleiner als 80 cm, in 106 Fällen lag sie zwischen 80 cm und 84,9 cm, in 74 Fällen zwischen 85 cm und 89,9 cm; sie erreichte in 18 Fällen sogar eine Größe von 90 cm und darüber hinaus. In einem Falle (Nr. 3) betrug die Länge des einfachen Schrittes etwas über 1 m; es handelte sich bei diesem Versuch um ein sehr großes Individuum (183 cm) mit außerdem abnorm großer Beinlänge (98 cm); die Messung der Länge des unbekleideten Fußes von dem hintersten Punkte der Hacke bis zur Fußspitze hatte außerdem bei ihm den außergewöhnlich hohen Wert von 30 cm ergeben.

Die Dauer des einfachen Schrittes war in 134 Fällen kleiner und in 86 Fällen größer als 0,5 sec. In keinem Falle wurden weniger als 105 Schritte in der Minute gemacht. In 3 Fällen

Digitized by Google

betrug die Anzahl der Schritte in der Minute 105 bis 109, in 18 Fällen 110 bis 114, in 54 Fällen 115 bis 119, in 63 Fällen 120 bis 124, in 63 Fällen 125 bis 129 und in 17 Fällen 130 bis 134. In 2 Fällen ging diese Anzahl sogar noch über 134 hinaus. Man erkennt daraus, daß die Soldaten durchaus nicht etwa ein bestimmtes Tempo anschlugen, welches ihnen auf dem Exerzierplatz eingedrillt worden war. Sie gingen im Durchschnitt schneller als beim Parademarsch, für welchen 110 bis 112 Schritte vorgeschrieben sind; denn der Mittelwert aus den 220 Versuchen ist größer als 120.

Man sieht also, daß bei dem Wanderschritt im Freien sowohl die Schrittlänge als auch die Anzahl der Schritte in der Minute viel größer ausfallen, als z. B. beim Gang im beschränkten Raume.

Um zu entscheiden, ob der militärische Drill etwa einen merklichen Einfluß auf die Konstanten des Wanderschrittes ausgeübt hatte, machten wir um dieselbe Zeit auch eine Reihe entsprechender Kontrollversuche mit einigen Studenten von ungefähr dem gleichen Alter, wie es die Soldaten besaßen. Die Ergebnisse derselben finden sich in der folgenden Tabelle 2 niedergelegt.

Tabelle 2. **Kontrollversuche zur Bestimmung der Länge und Dauer des typischen Wanderschrittes,**
angestellt an Studenten im Oktober des Jahres 1889.

Nr.	Name	Körperlänge in cm	Beinlänge in cm	Länge eines einfachen Schrittes in cm	Dauer eines einfachen Schrittes in sec	Anzahl der Schritte in der Minute	Mittlere Ganggeschwindigkeit in cm sec^{-1}
104.	Findeisen	168,0	90,0	85,5	0,481	125	177,8
				83,9	0,497	121	168,8
105.	Garten	166,5	87,5	76,4	0,503	119	151,8
				80,0	0,456	132	175,4
106.	Richter	167,0	87,0	75,5	0,503	119	149,8
				74,0	0,495	121	149,1
107.	Landwehr	174,0	96,0	86,7	0,507	118	171,0
				86,6	0,512	117	169,1
108.	R. His	178,5	93,0	85,8	0,533	113	161,0
				85,5	0,533	113	160,4
109.	Hentschel	174,0	92,0	87,0	0,526	114	165,4
				83,2	0,466	129	178,5
110.	Braune ..... (Schüler, 20 Jahr)	169,0	87,5	83,5	0,518	116	161,2
				82,8	0,522	115	158,6
111.	Welzel	167,0	86,8	84,1	0,498	120	168,9
				85,6	0,487	123	175,8

Digitized by Google

Aus dieser Tabelle erkennt man zunächst, daß auch bei noch nicht militärisch gedrillten Individuen die Länge des Wanderschrittes im Durchschnitt mehr als 80 cm beträgt, und daß bei kleineren Individuen sie etwas unter 80 cm bleiben kann, wie es sich auch bei den Versuchen mit den Soldaten gezeigt hatte. Die Anzahl der Schritte in der Minute schwankt hier zwischen 113 und 132, ein Resultat, welches mit den in Tabelle 1 mitgeteilten Ergebnissen nicht im Widerspruch steht. Bemerkenswert ist bei Nr. 105 und Nr. 109 die geringere Konstanz in der Anzahl der Schritte in der Minute, während diese den beiden zeitlich getrennten Versuchen entsprechenden Zahlen bei den anderen Individuen nur wenig von einander abweichen. Derartige Fälle geringerer Übereinstimmung kamen aber auch vereinzelt unter den Soldaten vor; man vergleiche in dieser Hinsicht z. B. die Nummern 24, 50, 66, 78 und 87 der ersten Tabelle.

Unser Versuchsindividuum, von dessen Gang die drei im I. Teil dieser Untersuchung ausführlich mitgeteilten chronophotographischen Aufnahmen herrühren, besaß eine Körperlänge von 167 cm und eine Beinlänge von 87 cm. Bei den drei Versuchen, welche zur genauen Koordinatenbestimmung verwendet wurden, hatte sich als Länge des einfachen Schrittes herausgestellt 77,9 cm, 76,8 cm und 71,9 cm. Die Dauer des einfachen Schrittes betrug beziehungsweise 0,495 sec., 0,485 sec. und 0,4947 sec.; demnach würden in einer Minute beziehungsweise 121,2 Schritte, 123,7 Schritte und 121,3 Schritte zurückgelegt worden sein, wenn der Gang eine so lange Zeit fortgesetzt worden wäre. Man sieht also, die Konstanten des Wanderschrittes unseres Individuums entsprechen durchaus den Resultaten unserer zahlreichen an Soldaten und Studenten angestellten Gehversuche. Auf keinen Fall ist man berechtigt, die Schrittlänge als zu groß und die Schrittdauer als zu klein anzusprechen. Man findet im Gegenteil, daß die erstere sogar etwas kleiner ist, als man bei der Körperlänge von 167 cm zu erwarten hätte. Während die Schrittlängen unseres Individuums bei den beiden ersten Versuchen sich nur wenig, um abgerundet 1 cm, von einander unterscheiden, ist die Schrittlänge beim dritten Versuch um 6 cm kleiner als beim ersten. Dies läßt sich leicht daraus erklären, daß beim letzten Versuch das Individuum das schwere Militärgepäck zu tragen hatte. Die Schrittdauer ist dagegen bei allen drei Versuchen annähernd die

gleiche. Da die mittlere Ganggeschwindigkeit sich durch Division der Anzahl der Centimeter der Schrittlänge mit der Anzahl der Sekunden der Schrittdauer berechnen läßt, so muß dieselbe beim Versuch mit Belastung merklich kleiner ausfallen, als bei den ersten beiden Versuchen. Die Berechnung ergibt, wie schon im II. Teil mitgeteilt worden ist (Seite 67) für die drei Versuche beziehungsweise die Werte 157,3 cm sec.$^{-1}$, 158,3 cm sec.$^{-1}$ und 145,3 cm sec.$^{-1}$. —

Wenn auch ein ganz exakter Beweis dafür, daß die Bewegungen des Wanderschrittes bei allen Individuen der Folge und Art nach vollkommen übereinstimmen, und die individuellen Verschiedenheiten nur quantitative, durch die verschiedenen Dimensionen der Knochen, die etwas verschiedene Gestaltung der Knochenenden und die verschiedene Massenverteilung im Körper bedingte sind, sich nur dadurch führen läßt, daß man den Wanderschritt zahlreicher normaler Individuen von möglichst verschiedenen Dimensionen in derselben Weise eingehend untersucht, wie es bisher mit den drei Versuchen unseres Individuums getan worden ist, so wird dies doch durch die direkte Beobachtung wandernder Menschen, durch die Vergleichung unserer chronophotographischen Aufnahmen mit denen von Marey und durch die Resultate unserer an 111 verschiedenen Personen angestellten Gehversuche in hohem Grade wahrscheinlich gemacht. Vor allen Dingen darf es wohl auch als ein oberster Grundsatz der Bewegungsphysiologie gelten, daß unter normalen Umständen der gleiche Bewegungseffekt stets mit den gleichen Mitteln erreicht wird. Selbst H. von Meyer sieht sich veranlaßt, trotzdem er die Möglichkeit, eine typische Art des Ganges aufzustellen, leugnet, doch zuzugeben, daß „in der Mehrzahl der Individuen dieselben Hauptgrundsätze für das Zustandekommen des Ganges beobachtet werden.“[1]) Es würde auch geradezu mit den Ergebnissen der normalen Anatomie in grellem Widerspruch stehen, wollte man bei der tagtäglich zu konstatierenden wesentlichen Übereinstimmung im Bau und der Anordnung der Knochen, Gelenke und Muskeln des menschlichen Körpers annehmen, daß der eine beim andauernden Ausschreiten auf der Landstraße ganz andere Gelenke und Muskeln zu Hilfe nimmt als ein anderer. Denn die geringen Varietäten, welche

1) Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. S. 305.

Digitized by Google

man zuweilen in der Gestaltung der Gelenkflächen und der Ansatzweise der Muskeln vorfindet, sind niemals von der Art, daß sie eine andere Funktion der betreffenden Gelenke oder Muskeln bedingen könnten. Wo aber auf einen Körper unter gleichen Bedingungen gleiche Arten von Kräften einwirken, da muß sich notwendigerweise auch dieselbe Art der Bewegung einstellen. Es ist daher mehr als wahrscheinlich, daß die Bewegungen, welche der Mensch beim andauernden Wanderschritt mit seinen Gliedern ausführt, auch in Einzelheiten, die man bei direkter Beobachtung nicht mit Sicherheit zu erkennen vermag, bei verschiedenen Individuen von gleicher Art sind. Andererseits geht aber auch daraus hervor, daß die Schlüsse, welche man aus der genauen Kenntnis aller Einzelheiten der Bewegungen beim menschlichen Gange auf die dabei wirksam gewesenen Kräfte zieht, nicht bloß individuelle, sondern insofern allgemeine Gültigkeit besitzen müssen, als beim Wanderschritt eines anderen Individuums jedenfalls die gleichen Arten von Kräften in der gleichen Aufeinanderfolge in den Bewegungsvorgang eingreifen, wenn sie sich auch vielleicht bei verschiedenen Individuen etwas in ihrer Intensität von einander unterscheiden können.

Wenn sich also bei einem Individuum herausstellen würde, daß die Schwingung des Beines beim Wanderschritt eine reine Pendelschwingung ist, so darf man wohl mit Sicherheit annehmen, daß es sich bei anderen Individuen bei der gleichen Gangart genau so verhält. Und wenn sich zeigen sollte, daß noch ganz andere Kräfte wie die Schwere auf die einzelnen Abschnitte des Beines einwirken müssen, um demselben die Bewegung zu erteilen, welche es in der Periode des Schwingens ausführt, so wird man dieses Resultat auch auf die Bewegungen des Wanderschrittes anderer Individuen übertragen dürfen.

Digitized by Google

II. Über die Kräfte, welche für die Periode des Schwingens in Frage kommen, und die Art ihrer Einwirkung auf die Abschnitte des Beins.

Es ist schon im III. Teil dieser Untersuchungen ausführlich dargelegt und im IV. Teil an dem speziellen Fall des Fußes erläutert worden, was für Kräfte beim Gehen überhaupt nur auf die einzelnen Abschnitte des menschlichen Körpers einwirken können, und in welcher Beziehung dieselben zu der hervorgebrachten Bewegung stehen. Es kann daher betreffs der Begründung des Folgenden auf die vorhergehenden Arbeiten verwiesen werden.

In der Periode des Schwingens sind die Verhältnisse insofern besonders einfach, als für das schwingende Bein der Gegendruck des Fußbodens in Wegfall kommt. Berücksichtigt man dies, und faßt man außerdem in erster Annäherung die Schwingung des Beins als eine ebene, der Medianebene des Körpers parallele Bewegung auf, so können nach den früheren Auseinandersetzungen nur die folgenden an den einzelnen Abschnitten des Beins angreifenden Kräfte für das Zustandekommen der Schwingungsbewegung verantwortlich gemacht werden.

Auf den *Oberschenkel* wirkt zunächst direkt die Schwere wie eine Kraft ein, welche gleich dem Gewicht G_2[1]) des Oberschenkels ist, vertikal nach unten zieht und im Schwerpunkte S_2 des Oberschenkels angreift, so wie es in Figur 2 angedeutet worden ist. Sofern Muskeln sich an der Hervorbringung der Schwingungsbewegung beteiligen, wirken die direkt an dem Oberschenkel in-

1) Die hier und im folgenden verwendeten Indices beziehen sich auf die Nummerierung, welche für die Abschnitte der rechten unteren Extremität bei diesen Untersuchungen eingeführt worden ist; es kommt dem rechten Oberschenkel die Nummer 2, dem rechten Unterschenkel die Nummer 4 und dem rechten Fuß die Nummer 6 zu. Die entsprechenden Teile des linken Beins tragen beziehungsweise die Nummern 3, 5 und 7.

Digitized by Google

serierenden wie Kräfte auf denselben ein, welche gleich ihren Gesamtspannungen sind und stets die Richtung nach dem anderen Insertionspunkt hin besitzen. Als Angriffspunkt hat hierbei diejenige Stelle des Oberschenkels zu gelten, von welcher aus der betreffende Muskel sich frei über das verbindende Gelenk hinweg nach einem Nachbarglied ausspannt; es ist also der Angriffspunkt der Muskelkraft in vielen Fällen durchaus nicht identisch mit seinem am Oberschenkel befindlichen Insertionspunkt oder mit einem mittleren Punkte seiner Insertionsfläche, wie das früher schon ausführlich auseinandergesetzt worden ist.[1]) Um die Figur nicht zu unübersichtlich zu machen, sind in Figur 2 zunächst keine Repräsentanten von direkt am Oberschenkel angreifenden Muskelkräften eingezeichnet worden.

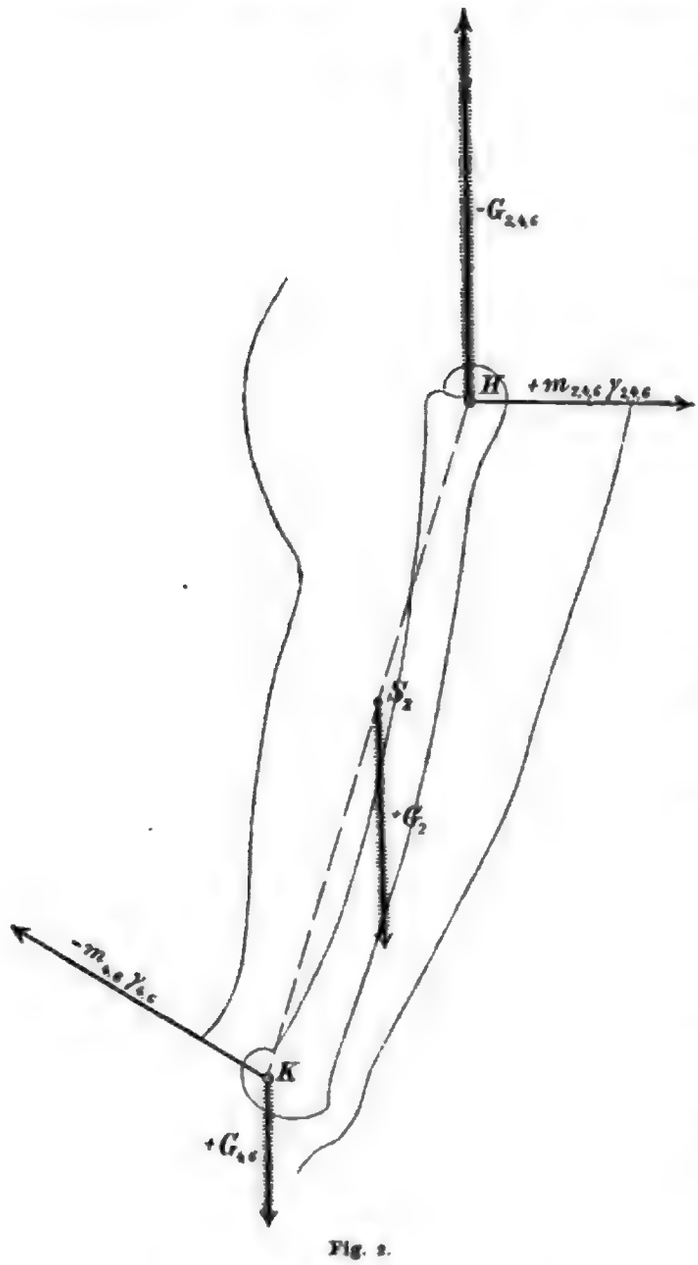


Fig. 2.

Außer mit den genannten Kräften wirken nun sowohl die Schwere als auch die Muskeln noch in anderer Weise auf den Oberschenkel ein, nämlich dadurch, daß sie den Gelenkdruck sowohl im Hüftgelenk als auch im Kniegelenk beeinflußen.

1) Vgl. insbesondere meine Arbeit über: Das statische und das kinetische Maß für die Wirkung eines Muskels. Abhandl. der math.-phys. Klasse der Königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Bd. XXVII, Nr. V. 1902.

Der fortwährend wechselnde Druck, welcher im Hüftgelenk auf den Oberschenkel ausgeübt wird, ist in jedem Moment als eine Kraft aufzufassen, welche im Mittelpunkt des Femurkopfes angreift, uud deren Intensität und Richtung so zu bemessen sind, daß sie im Verein mit den direkt am ganzen Bein angreifenden äußeren Kräften dem Schwerpunkte des ganzen Beins gerade die in dem betreffenden Zeitpunkt vorhandene Beschleunigung nach Größe und Richtung zu erteilen vermag. Durch diese Bedingung ist die im Hüftgelenk ausgeübte Druckkraft in eindeutiger Weise bestimmt, wenn man alle am Bein direkt angreifenden äußeren Kräfte und die Beschleunigung des Gesamtschwerpunktes des Beins nach Größe und Richtung kennt. Man faßt sie am besten als Resultante einer Reihe von Komponenten auf, von denen eine gleich und gleichgerichtet mit der Effektivkraft des ganzen Beins ist, während die anderen den sämtlichen am Bein direkt angreifenden äußeren Kräften an Größe gleich aber gerade entgegengesetzt wie diese gerichtet sind.

Unter der Effektivkraft des ganzen Beins versteht man eine Kraft, welche mit der Beschleunigung des Gesamtschwerpunktes des Beins gleichgerichtet ist, und deren Intensität durch das Produkt aus der Masse des ganzen Beins und der Beschleunigung seines Schwerpunktes gemessen wird. Bezeichnet man die Masse des ganzen Beins mit $m_{2,4,6}$ und die Beschleunigung des Gesamtschwerpunktes $S_{2,4,6}$ des Beins mit $\gamma_{2,4,6}$, wobei durch die drei Indices angedeutet sein soll, daß es sich um das System der drei mit den Nummern 2, 4 und 6 versehenen Abschnitte des Körpers handelt, so beträgt demnach die Größe der Effektivkraft des ganzen Beins $m_{2,4,6}\gamma_{2,4,6}$. In Figur 2 ist diese Druckkomponente angedeutet und mit dem positiven Vorzeichen versehen worden, um damit zum Ausdruck zu bringen, daß sie mit der Effektivkraft des Beins gleichgerichtet ist.

Die am Bein direkt angreifenden äußeren Kräfte sind wiederum nur von zweierlei Art. Einmal zieht im Schwerpunkt $S_{2,4,6}$ des ganzen Beins das Gewicht $G_{2,4,6}$ desselben vertikal nach unten; und dann wirken in der oben angedeuteten Weise die am Bein ansetzenden Muskeln bei ihrer Kontraktion als Kräfte ein. Dabei kommen jedoch nur solche Muskeln in Betracht, deren Ursprung sich außerhalb des Beins, d. h. also hier am Rumpfe, befindet; denn die Muskeln, welche beide Insertionen am Bein selbst

Digitized by Google

nehmen, verursachen nur Kräfte, welche als innere Kräfte für das Bein aufzufassen sind. Infolgedessen ist unter den Druckkomponenten im Hüftgelenk eine vertikal nach oben gerichtet und gleich dem Gewicht des Beins; dieselbe ist in Figur 2 eingezeichnet und entsprechend ihrer Richtung mit $-G_{2,4,6}$ bezeichnet worden. Die übrigen, in der Figur nicht mit angedeuteten Druckkomponenten, sind den Muskelkräften entgegengesetzt gleich.

Der ebenfalls sich fortwährend ändernde Druck, welcher im Kniegelenk auf den Oberschenkel ausgeübt wird, stellt sich in jedem Moment als eine Kraft dar, die unter der gemachten Voraussetzung ebener Bewegung des Beins im Mittelpunkt des Kniegelenks angreift; dabei ist als Mittelpunkt des Kniegelenks derjenige Punkt aufzufassen, in welchem die durch den Hüftgelenkmittelpunkt und den Schwerpunkt des Oberschenkels hindurchgehende Längsachse des Oberschenkels die Knieachse trifft. Dieser Druck hat die gleiche Größe wie der im Kniegelenk auf den Unterschenkel ausgeübte Druck; seine Richtung ist aber der Richtung des letzteren genau entgegengesetzt. Nach den obigen Auseinandersetzungen über die Druckkraft im Hüftgelenk kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die im Kniegelenk auf den Oberschenkel ausgeübte Druckkraft folgende Komponenten besitzt: Zunächst eine Komponente, welche der Effektivkraft $m_{4,6}\gamma_{4,6}$ des Systems Unterschenkel plus Fuß gleich ist, aber die entgegengesetzte Richtung wie diese besitzt; ferner eine Komponente, welche dem Gewicht $G_{4,6}$ des Systems Unterschenkel plus Fuß gleich und auch wie dieses vertikal nach unten gerichtet ist (vgl. Figur 2), endlich eine Anzahl von Komponenten, welche den am Unterschenkel und Fuß direkt angreifenden äußeren Muskelkräften gleich sind und auch die gleiche Richtung wie diese besitzen. Äußere Muskelkräfte können dabei allein solche Muskeln ausüben, welche nur ihren Ansatz am Unterschenkel oder Fuß, dagegen ihren Ursprung außerhalb dieses Systems, also entweder am Oberschenkel oder am Rumpf besitzen. In Figur 2 sind nur die beiden ersten Druckkomponenten im Kniegelenk angedeutet, die von den Muskeln herrührenden Komponenten aber wiederum fortgelassen worden. Die Gewichtskomponente ist mit $+G_{4,6}$ bezeichnet worden, um anzudeuten, daß sie dem Gewicht des Systems Unterschenkel plus Fuß nicht nur gleich, sondern auch gleichgerichtet ist. Da die aus der Effektivkraft dieses Systems her-

Digitized by Google

rührende Druckkomponente derselben entgegengesetzt gerichtet ist, so ist sie in der Figur mit $-m_{4,6}\gamma_{4,6}$ bezeichnet worden.

Damit sind nun alle Kräfte aufgezählt, welche in der Periode des Schwingens auf den Oberschenkel einwirken können. Derselbe wird sich unter der Einwirkung derselben genau so bewegen, als ob er völlig frei, vom übrigen Körper abgelöst wäre; denn der Einfluß, welchen infolge der Gelenkverbindung die anderen Körperteile bei der Bewegung auf den Oberschenkel ausüben, ist vollkommen durch die beiden Druckkräfte im Hüft- und Kniegelenk wiedergegeben. Da der Oberschenkel nach Einführung der Gelenkdrucke als Körper für sich betrachtet werden kann, so stellen alle oben aufgezählten Kräfte äußere Kräfte für den Oberschenkel dar. Da der Schwerpunkt eines freien Körpers sich stets so bewegt, als ob die sämtlichen auf den Körper einwirkenden äußeren Kräfte mit ihrer Stärke und Richtung im Schwerpunkte selbst angriffen und außerdem in diesem Punkte die ganze Masse des Körpers vereinigt wäre, so müssen die in Fig. 2 aufgezeichneten Kräfte im Verein mit den erwähnten Muskelkräften nach dem Schwerpunkte S_2 des Oberschenkels verlegt als Resultante $m_2\gamma_2$ ergeben, wobei m_2 die Masse und γ_2 die Beschleunigung des Schwerpunktes, ihr Produkt also die Effektivkraft vom Oberschenkel bedeutet. Daß dies wirklich der Fall ist, kann man leicht erkennen. Es ergeben nämlich schon die beiden im Hüftgelenkmittelpunkt H und Kniegelenkmittelpunkt K vorhandenen Druckkomponenten $+m_{2,4,6}\gamma_{2,4,6}$ und $-m_{4,6}\gamma_{4,6}$ als Resultante $m_2\gamma_2$. Dies geht unmittelbar daraus hervor, daß die Effektivkraft $m_{2,4,6}\gamma_{2,4,6}$ des ganzen Beins sich als Resultante der drei Effektivkräfte $m_2\gamma_2$, $m_4\gamma_4$ und $m_6\gamma_6$ vom Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß darstellt, und daß andererseits die Effektivkraft $m_{4,6}\gamma_{4,6}$ des Systems Unterschenkel plus Fuß die Resultante von $m_4\gamma_4$ und $m_6\gamma_6$ ist. Setzt man demnach $m_{2,4,6}\gamma_{2,4,6}$ mit $-m_{4,6}\gamma_{4,6}$ zusammen, so muß sich die Effektivkraft $m_2\gamma_2$ ergeben. Alle anderen am Oberschenkel angreifenden Kräfte dürfen also keinen Einfluß auf die Bewegung des Schwerpunktes ausüben. Dies stimmt damit überein, daß, wie sich nachweisen läßt, zu jeder der anderen Kräfte sich eine auffinden läßt, welche ihr entgegengesetzt gleich ist, so daß sich dieselben zu einer Reihe von Kräftepaaren zusammenordnen lassen.

Was zunächst die drei in H, S_2 und K angreifenden Gewichtskräfte anlangt, so kann man die beiden letzteren, welche vertikal

Digitized by Google

nach unten gerichtet sind, zu einer Resultante vereinigen, deren Größe $G_{2,4,6}$ ist, so daß dieselbe der in H angreifenden Druckkomponente $-G_{2,4,6}$ entgegengesetzt gleich ist. Der Angriffspunkt H_2' dieser Resultante, welche sich in der folgenden Figur 3 aufgezeichnet findet, liegt auf der Verbindungsstrecke $S_2 K$ und teilt dieselbe im umgekehrten Verhältnis der beiden Gewichtskräfte. Dieser Punkt ist schon früher als partieller Hauptpunkt des Oberschenkels bezeichnet worden; er kann auch aufgefaßt werden als der Schwerpunkt des Massensystems, welches man erhält, wenn man im Mittelpunkt des Kniegelenks die Massen von Unterschenkel und Fuß konzentriert und dem Oberschenkel hinzugefügt denkt. Dieser Hauptpunkt ist deshalb als partiell bezeichnet worden, weil man zu seiner Konstruktion das Bein vom Rumpf abgelöst denken muß; bliebe das Bein im Zusammenhang mit dem Rumpf, so müßte man auch noch im Hüftgelenkmittelpunkt die Massen des Rumpfes, des anderen Beins, der beiden Arme und des Kopfes konzentriert und dem Oberschenkel hinzugefügt denken. Der Schwerpunkt dieses fingierten Massensystems wäre dann der totale Hauptpunkt des Ober-

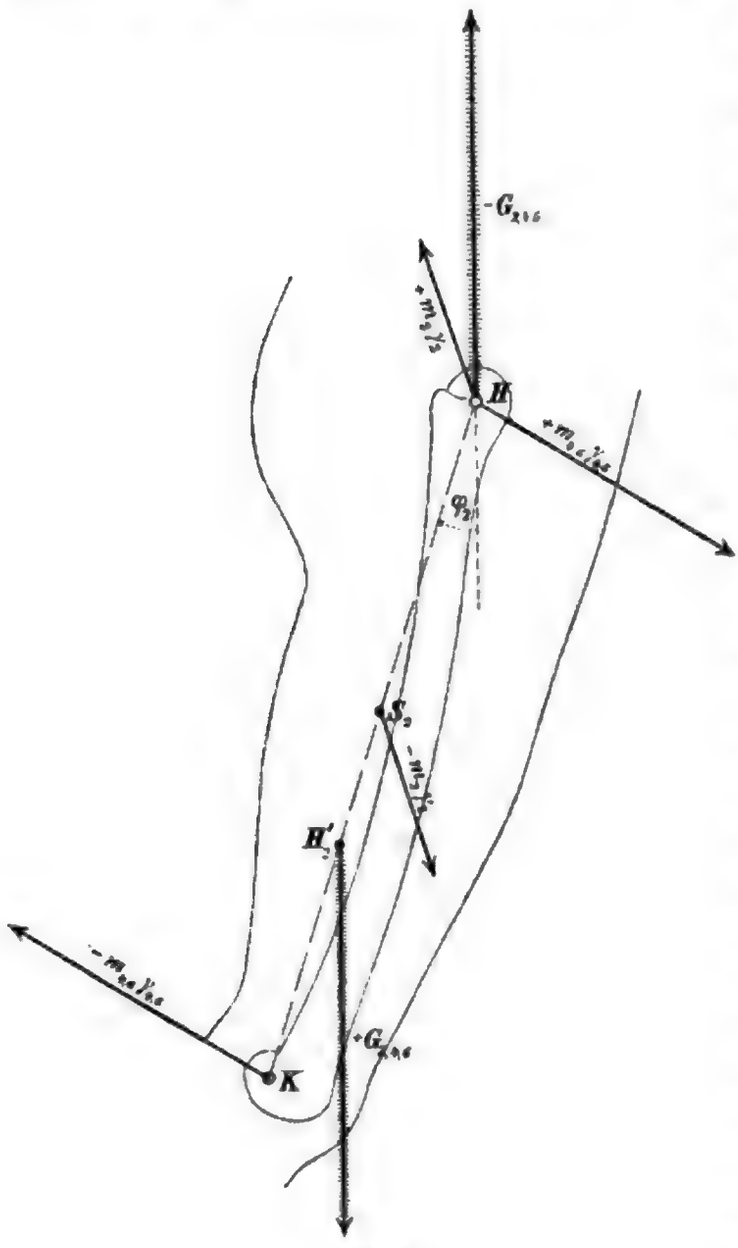


Fig. 3.

schenkels. Die in H_2' angreifende Gewichtskraft $+ G_{2,4,6}$ bildet nun mit der im Hüftgelenkmittelpunkt H vertikal nach oben gerichteten Druckkomponente $- G_{2,4,6}$ ein Kräftepaar, welches nur im Sinne einer Drehung auf den Oberschenkel einzuwirken sucht, die Beschleunigung seines Schwerpunktes aber nicht beeinflussen kann. Das Moment dieses Kräftepaares stellt das auf den Oberschenkel in der Periode des Schwingens ausgeübte Drehungsmoment der Schwere dar; es soll kurz mit D_{s_2} bezeichnet und positiv gerechnet werden, wenn es den Oberschenkel von der rechten Seite aus gesehen im umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger zu drehen sucht. Es ist zu beachten, daß das Kräftepaar, mit welchem die Schwere auf den Oberschenkel drehend einwirkt, nur während des Schwingens, wo das Bein nicht mit dem Boden in Berührung ist, in der beschriebenen Weise sich zusammensetzen läßt. Steht dagegen das Bein auf dem Fußboden auf, so gestalten sich die von der Schwere herrührenden Komponenten des Drucks im Knie- und Hüftgelenk in der Weise, wie es im III. Teil auf Seite 108ff. ausführlich erörtert worden ist. Daselbst findet sich auch noch eine andere Ableitung des resultierenden Drehungsmomentes der Schwere für die Periode des Schwingens; es ist dort gezeigt worden, daß man dasselbe auch als Moment eines Kräftepaares auffassen kann, dessen Kräfte beide dem Gesamtgewicht G_0 des ganzen menschlichen Körpers gleich sind; die eine Kraft, welche vertikal nach oben gerichtet ist, greift im Hüftgelenkmittelpunkt, die andere, vertikal nach unten gerichtete dagegen im totalen Hauptpunkte des Oberschenkels an. Das Moment dieses Kräftepaares stimmt natürlich genau mit dem Moment des oben abgeleiteten Kräftepaares überein; denn die Entfernung des partiellen Hauptpunktes vom Hüftgelenkmittelpunkt verhält sich zu der Entfernung des totalen Hauptpunktes vom Hüftgelenkmittelpunkt wie das Gewicht des ganzen menschlichen Körpers zu dem Gewicht des Beins, wie man leicht aus der Bedeutung der Hauptpunkte erkennt (vgl. auch Teil II Seite 39ff.). In dem gleichen Verhältnis wie die Entfernungen der beiden auf der Längsachse des Oberschenkels liegenden Hauptpunkte vom Hüftgelenkmittelpunkt stehen aber auch die horizontal gerichteten Arme der beiden Kräftepaare, woraus sich unmittelbar ergibt, daß die Momente der Kräftepaare gleich sind.

In entsprechender Weise wie die Gewichtskräfte lassen sich

Digitized by Google

nun auch die direkt am Oberschenkel angreifenden Muskelkräfte mit den von den Muskeln herrührenden Druckkomponenten im Hüftgelenk und Kniegelenk zu Kräftepaaren so vereinigen, daß einem jeden Muskel, soweit er als physiologische Einheit betrachtet werden darf, ein besonderes Kräftepaar entspricht. Denn zu jeder am Oberschenkel direkt angreifenden Muskelkraft findet sich unter den Druckkomponenten in einem der beiden Gelenke stets eine entgegengesetzt gleiche, welche von demselben Muskel herrührt. Hat aber ein Muskel beide Insertionsstellen außerhalb des Oberschenkels so, daß er über beide Gelenke desselben hinwegzieht, so greift die von der proximalen Insertion herrührende Kraft des Paares im Hüftgelenksmittelpunkt und die andere, ihr entgegengesetzt gleiche, im Kniegelenkmittelpunkt an. Dies alles ist schon früher ganz allgemein auseinandergesetzt und begründet[1]), und insbesondere auch schon auf die am Oberschenkel liegenden Muskeln angewendet[2]) worden, so daß es nicht nötig ist, an dieser Stelle noch einmal ausführlich darauf zurückzukommen. Es mag nur noch einmal hervorgehoben werden, daß die Art der Zusammensetzung der Kräftepaare, mit welchen die Muskeln auf den Oberschenkel drehend einzuwirken suchen, ganz unabhängig von den jeweiligen Bedingungen für die Bewegung des Oberschenkels ist; diese Kräftepaare sind also der Art nach dieselben, wenn das betreffende Bein schwingt, als wenn es sich auf den Fußboden aufgesetzt hat. Hierdurch unterscheiden sie sich wesentlich von dem Kräftepaar, mit welchem die Schwere auf den Oberschenkel einwirkt. Unter der Voraussetzung ebener Bewegung kommen nur diejenigen Komponenten der Muskelkräftepaare zur Wirkung, deren Ebenen der Medianebene des Körpers parallel laufen; man hat dabei dann nur noch zu unterscheiden, welche Kräftepaare den Oberschenkel von der rechten Seite aus gesehen im umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger, und welche ihn im Sinne des Uhrzeigers zu drehen suchen. Rechnet man die Momente der ersteren positiv, so muß man den Momenten der letzteren das negative Vorzeichen geben. Das resultierende Moment für alle von Muskeln herrührenden Kräftepaare, welches dann gleich

1) Über die Drehungsmomente ein- und mehrgelenkiger Muskeln. Archiv für Anatomie und Physiologie. Anat. Abt. 1894.

2) Das statische und kinetische Maß für die Wirkung eines Muskels. Seite 518 ff.

Digitized by Google

der algebraischen Summe der Momente der einzelnen Kräftepaare ist, soll kurz mit D_{m_2} bezeichnet werden. Da auch die sämtlichen Muskelkräfte paarweise entgegengesetzt sind, so können sie ebenfalls keinen Einfluß auf die Bewegung des Gesamtschwerpunktes des Oberschenkels ausüben.

Es bleiben somit nur die beiden Druckkomponenten übrig, von denen die eine im Hüftgelenkmittelpunkt angreift und der Effektivkraft des ganzen Beins direkt gleich ist, während die andere im Kniegelenk angreift und der Effektivkraft des Systems Unterschenkel plus Fuß entgegengesetzt gleich ist. Für diese ist aber oben schon nachgewiesen worden, daß sie sich zu einer Resultante zusammensetzen, welche dem Schwerpunkt des Oberschenkels gerade seine richtige Beschleunigung nach Größe und Richtung zu erteilen im stande ist.

Diese beiden von den Effektivkräften herrührenden Druckkräfte üben nun außerdem im allgemeinen auch einen drehenden Einfluß auf den Oberschenkel aus. Man kann denselben am besten dadurch zur Anschauung bringen, daß man im Schwerpunkt des Oberschenkels eine Kraft hinzugefügt denkt, welche die Vorwärtsbewegung desselben verhindert, ohne einen Einfluß auf die Drehung des ganzen Oberschenkels um den Schwerpunkt auszuüben. Diese hinzugefügte Kraft muß der Effektivkraft des Oberschenkels genau entgegengesetzt gleich sein; in Figur 3 ist sie angedeutet und entsprechend ihrer Richtung mit $-m_2\gamma_2$ bezeichnet worden. Da die Drehung des Oberschenkels durch diese Kraft nicht gestört wird, so muß sie sich mit den beiden in H und K angreifenden Effektivkräften so zu Kräftepaaren vereinigen lassen, daß keine einzelne Kraft mehr übrig bleibt. Dies läßt sich auf verschiedene Weise erreichen. Man könnte z. B. die Kraft $-m_2\gamma_2$ in die beiden Komponenten $-m_{2,4,6}\gamma_{2,4,6}$ und $+m_{4,6}\gamma_{4,6}$ zerlegen, von denen die eine der im Hüftgelenk angreifenden, dagegen die andere der auf das Kniegelenk einwirkenden Effektivkraft (vgl. Figur 2) entgegengesetzt gleich ist; dann hat man die beiden Kräftepaare $[+m_{2,4,6}\gamma_{2,4,6},\ -m_{2,4,6}\gamma_{2,4,6}]$ und $[+m_{4,6}\gamma_{4,6},\ -m_{4,6}\gamma_{4,6}]$ direkt vor Augen. Oder man kann auch, wie es in Figur 3 angedeutet ist, die im Hüftgelenkmittelpunkt angreifende Effektivkraft $+m_{2,4,6}\gamma_{2,4,6}$ in die beiden Komponenten $+m_{4,6}\gamma_{4,6}$ und $+m_2\gamma_2$ zerlegen. Dann hat man wiederum zwei Kräftepaare, von denen das eine aus den beiden im Hüftgelenkmittelpunkt und Kniegelenkmittelpunkt an-

Digitized by Google

greifenden Kräften $+ m_{4,6}\gamma_{4,6}$ und $- m_{4,6}\gamma_{4,6}$ besteht, während das andere sich aus der im Hüftgelenkmittelpunkt angreifenden Kraft $+ m_2\gamma_2$ und der im Schwerpunkt des Oberschenkels hinzugefügten Kraft $- m_2\gamma_2$ zusammensetzt. Diese letztere Darstellung des drehenden Einflusses der Effektivkräfte ist für den vorliegenden Zweck, die in der Periode des Schwingens wirksamen Kräfte zu bestimmen, deshalb die geeignetere, weil man bei ihrer Verwendung nur genötigt ist, sich außer der Beschleunigung γ_2 des Schwerpunktes vom Oberschenkel die Beschleunigung $\gamma_{4,6}$ des Schwerpunktes vom System Unterschenkel plus Fuß, nicht aber auch die Beschleunigung des Schwerpunktes des ganzen Beins zu verschaffen. Das resultierende Drehungsmoment der Effektivkräfte, welches beim Oberschenkel mit D_2 bezeichnet werden soll, ist unter der Voraussetzung ebener Bewegung wieder gleich der algebraischen Summe der Momente der beiden Kräftepaare, sofern man wieder das von der rechten Seite aus gesehen den Oberschenkel im umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger drehende positiv und das im Sinne des Uhrzeigers drehende negativ rechnet.

Am *Unterschenkel* gestalten sich die Verhältnisse ganz ähnlich wie am Oberschenkel. Die Schwere zieht zunächst direkt mit der Kraft G_4, welche dem Gewicht des Unterschenkels gleich ist, im Schwerpunkte S_4 des Unterschenkels vertikal nach unten (vgl. Figur 4). Jeder direkt am Unterschenkel inserierende Muskel wirkt, sofern er überhaupt gespannt ist, mit einer Kraft ein, die nach dem anderen Insertionspunkt hin gerichtet ist und an demjenigen Punkte des Unterschenkels angreift, von welchem aus er frei über das Kniegelenk oder das obere Sprunggelenk hinwegziehen kann. Von diesen Muskelkräften finden sich wiederum keine Repräsentanten in Figur 4 eingezeichnet. Außer von diesen beiden direkt am Unterschenkel angreifenden Kraftarten wird die Bewegung des Unterschenkels nur noch durch den fortwährend wechselnden Gelenkdruck im Kniegelenk und im Fußgelenk beeinflußt.

Der Druck im Kniegelenk wirkt auf den Unterschenkel wie eine Kraft, welche im Mittelpunkt des Kniegelenks angreift und an Größe genau mit dem im Kniegelenk auf den Oberschenkel ausgeübten Druck übereinstimmt, aber genau die entgegengesetzte Richtung von diesem besitzt, wie schon oben angedeutet wurde. Derselbe besteht daher nach den obigen Auseinandersetzungen aus drei Arten von Komponenten. Eine Komponente ist gleich

Digitized by Google

und gleichgerichtet mit der Effektivkraft $m_{4,6}\gamma_{4,6}$ des Systems Unterschenkel plus Fuß; eine zweite Komponente ist an Größe gleich dem Gewicht $G_{4,6}$ dieses Systems und zieht vertikal nach oben. Diese beiden Komponenten finden sich in Figur 4 angedeutet und ihren Richtungen entsprechend mit $+ m_{4,6}\gamma_{4,6}$ und $- G_{4,6}$ bezeichnet. Alle anderen (in die Figur nicht mit eingezeichneten) Komponenten sind Muskelkräfte, welche den am ganzen System Unterschenkel plus Fuß direkt angreifenden Muskelkräften entgegengesetzt gleich sind.

Der Druck, welcher im Mittelpunkt des Fußgelenks auf den Unterschenkel einwirkt, setzt sich ebenfalls aus drei Arten von

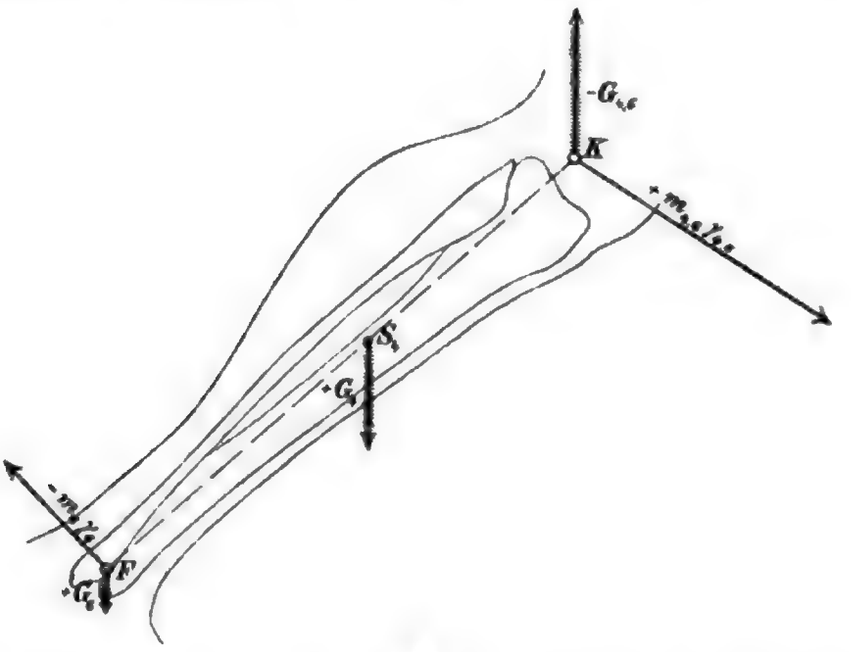


Fig. 4.

Komponenten zusammen. Eine Komponente ist der Effektivkraft $m_6\gamma_6$ des Fußes entgegengesetzt gleich; sie ist deshalb in Figur 4 durch $- m_6\gamma_6$ bezeichnet worden. Eine zweite Komponente ist gleich dem Gewicht G_6 des Fußes und zieht vertikal nach unten ($+ G_6$ in Figur 4). Die etwa noch vorhandenen anderen Kräfte sind Muskelkräfte, welche den am Fuß direkt angreifenden Muskelkräften nicht nur an Größe, sondern auch an Richtung gleich sind.

Alle diese Tatsachen lassen sich leicht verstehen und ableiten, wenn man beachtet, daß einerseits der Druck, welcher im Kniegelenk auf den Unterschenkel ausgeübt wird, notwendigerweise so beschaffen sein muß, daß er im Verein mit den direkt am System Unterschenkel plus Fuß angreifenden äußeren Kräften

Digitized by Google

dem Schwerpunkte dieses Systems seine Beschleunigung $\gamma_{4,6}$ erteilen kann, und daß andererseits der im Fußgelenk auf den Unterschenkel einwirkende Druck dem in demselben Gelenk auf den Fuß ausgeübten Druck entgegengesetzt gleich sein muß. Der letztere hat aber im Verein mit den direkt am Fuß angreifenden Kräften dem Fußschwerpunkt seine Beschleunigung γ_6 zu erteilen.

Die beiden im Schwerpunkt S_4 des Unterschenkels und im Fußgelenkmittelpunkt F angreifenden Gewichtskräfte lassen sich nun wiederum zu einer ebenfalls vertikal nach unten ziehenden Resultante zusammensetzen, deren Größe dem Gesamtgewicht $G_{4,6}$ des Systems Unterschenkel plus Fuß gleich ist, und deren Angriffspunkt auf der Verbindungsstrecke $S_4 F$ liegt und dieselbe im umgekehrten Verhältnis der beiden Gewichte G_4 und G_6 teilt. Dieser Punkt, welcher in Figur 5 angegeben und mit H_4'' bezeichnet ist, stellt den partiellen Hauptpunkt des Unterschenkels dar, welcher sich auf das im Kniegelenk von dem übrigen Körper abgelöst gedachte System Unterschenkel plus Fuß, und nicht etwa, wie der oben angegebene partielle Hauptpunkt H_3 des Oberschenkels, auf das ganze Bein bezieht. Dieser partielle Hauptpunkt ist deshalb auch zum Unterschied mit zwei Strichen versehen worden. Die in H_4'' angreifende Gewichtskraft, welche in Figur 5 eingezeichnet ist, bildet nun wiederum mit der in K angreifenden Druckkomponente $-G_{4,6}$ ein Kräftepaar, dessen Moment D_4 das in der Periode des Schwingens auf den Unterschenkel ausgeübte Drehungsmoment der Schwere darstellt.

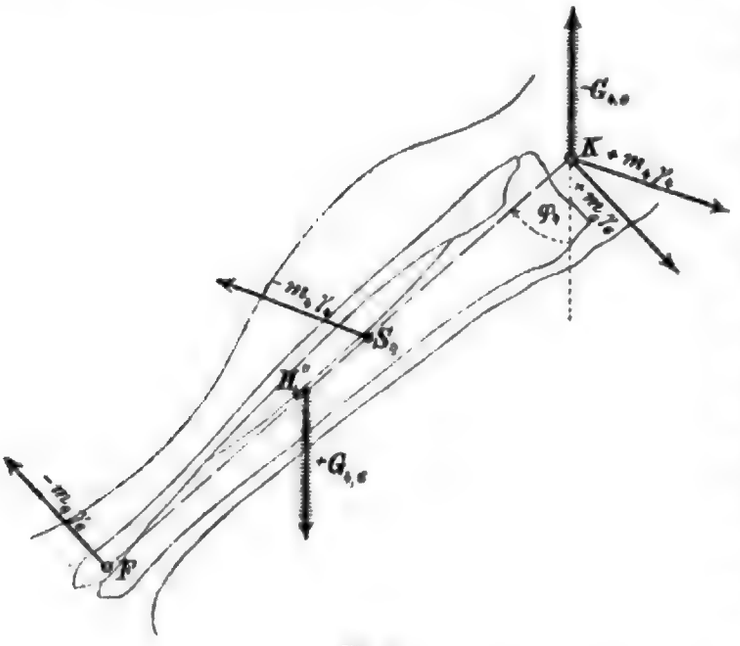


Fig. 5.

Wie die Schwerkräfte, so lassen sich auch die direkt am Unterschenkel angreifenden Muskelkräfte mit den unter den Druckkomponenten im Kniegelenk und Fußgelenk vorhandenen Muskel-

Digitized by Google

kräften zu soviel Kräftepaaren zusammenfassen, als Muskeln überhaupt in der Periode des Schwingens auf den Unterschenkel drehend einwirken. Von diesen Kräftepaaren sucht ein Teil den Unterschenkel von der rechten Seite aus gesehen im umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger und der andere Teil im Sinne des Uhrzeigers zu drehen. Rechnet man die Momente der ersteren positiv und die der letzteren negativ, so stellt die algebraische Summe aller dieser Momente das resultierende Drehungsmoment D_{m_4} der Muskeln des Unterschenkels dar.

Da sowohl die auf den Unterschenkel direkt und indirekt einwirkenden Schwerkräfte, als auch die unmittelbar und mittelbar an ihm angreifenden Muskelkräfte sich zu Kräftepaaren ordnen, so können sie auf die Bewegung des Unterschenkelschwerpunktes keinen Einfluß ausüben. Diese ist allein den in K und F wirksamen mit den Effektivkräften zusammenhängenden Druckkomponenten $+ m_{4,6}\gamma_{4,6}$ und $- m_6\gamma_6$ zuzuschreiben. In der Tat setzen sich diese beiden Kräfte, nach dem Schwerpunkte S_4 des Unterschenkels verlegt, zu der Resultante $+ m_4\gamma_4$ zusammen, wie es für die Beschleunigung γ_4 des Unterschenkelschwerpunktes erforderlich ist. Denkt man sich in S_4 die der Effektivkraft $m_4\gamma_4$ entgegengesetzt gleiche Kraft $- m_4\gamma_4$ angebracht, so würde hierdurch nur die Bewegung dieses Schwerpunktes selbst verhindert, die Drehung des Unterschenkels um denselben aber in keiner Weise beeinträchtigt werden. Es muß infolgedessen diese hinzugefügte Kraft sich mit den in K und F angreifenden Kräften $+ m_{4,6}\gamma_{4,6}$ und $- m_6\gamma_6$ zu Kräftepaaren vereinigen lassen. Dies kann auf verschiedene Art geschehen. Man könnte beispielsweise die in S_4 angreifende Kraft $- m_4\gamma_4$ durch die beiden Komponenten $- m_{4,6}\gamma_{4,6}$ und $+ m_6\gamma_6$ ersetzt denken; dann bildet die in K angreifende Kraft $+ m_{4,6}\gamma_{4,6}$ mit der in S_4 angreifenden Komponente $- m_{4,6}\gamma_{4,6}$ das eine, und die in S_4 angreifende Komponente $+ m_6\gamma_6$ mit der in F angreifenden Kraft $- m_6\gamma_6$ das andere der beiden Kräftepaare, welche die drehende Wirkung der drei Kräfte zur Anschauung bringen. Man kann aber auch, wie es in Figur 5 angedeutet ist, die Kraft in K durch ihre Komponenten $+ m_4\gamma_4$ und $+ m_6\gamma_6$ ersetzt denken; dann bildet die erstere mit der in S_4 angreifenden Kraft $- m_4\gamma_4$ das eine, und die letztere mit der in F angreifenden Kraft $- m_6\gamma_6$ das andere Kräftepaar. Diese beiden Kräftepaare sind natürlich in Bezug auf ihre Gesamtwirkung den

Digitized by Google

bei der ersten Art der Zusammensetzung sich ergebenden vollkommen äquivalent. Rechnet man wieder das Moment positiv oder negativ, je nachdem ein Kräftepaar im umgekehrten Sinne oder im Sinne des Uhrzeigers den Unterschenkel von der rechten Seite aus gesehen zu drehen sucht, so ist das für den Unterschenkel mit D_{ε_1} zu bezeichnende resultierende Drehungsmoment der Effektivkräfte gleich der algebraischen Summe der Momente der beiden Kräftepaare.

Am *Fuß* sind die Verhältnisse am einfachsten. Nach den schon im IV. Teil ausführlich für alle Fälle gemachten Angaben hat man speziell in der Periode des Schwingens nur folgende Krafteinwirkungen zu berücksichtigen. Im Schwerpunkt S_6 des Fußes zieht das Gewicht G_6 desselben vertikal nach unten (vgl. Figur 6). Ferner können die am Fuß ansetzenden Muskeln mit Kräften einwirken, welche nach ihrem Ursprung am Unter- oder Oberschenkel hinziehen. Außerdem findet nur noch eine Druckeinwirkung im Fußgelenkmittelpunkt F statt. Diese besteht zunächst aus den Komponenten $-G_6$ und $+m_6\gamma_6$, von denen die erstere vertikal nach oben gerichtet ist und die letztere die Richtung der Beschleunigung γ_6 des Fußes besitzt; die übrigen Komponenten des Druckes in F sind den am Fuß unmittelbar angreifenden Muskelkräften entgegengesetzt gleich.

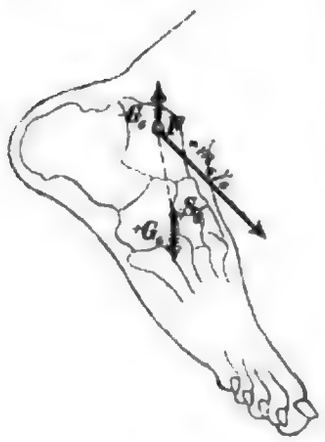


Fig. 6.

Hieraus ist ohne weiteres ersichtlich, daß sowohl die beiden in F und S_6 angreifenden Schwerkräfte ein Kräftepaar bilden, dessen Moment das Drehungsmoment D_{ε_1} der Schwere darstellt, als auch die sämtlichen auf den Fuß einwirkenden Muskelkräfte sich zu Kräftepaaren zusammenordnen, deren Momente in ihrer algebraischen Summe das resultierende Drehungsmoment D_{m_1} der Muskeln für den Fuß ergeben. Die dann in F noch übrig bleibende Druckkomponente $+m_6\gamma_6$ wird allein die Bewegung des Fußschwerpunktes S_6 hervorbringen. Annulliert man dieselbe durch die in S_6 angebrachte Kraft $-m_6\gamma_6$ (vgl. Figur 7), welche $+m_6\gamma_6$ entgegengesetzt gleich

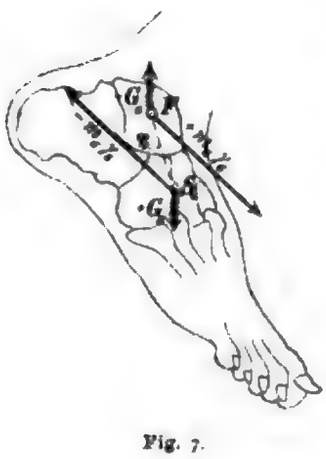


Fig. 7.

Digitized by Google

sein muß, so hat man in diesen beiden in F und S_6 angreifenden Kräften schließlich noch das von den Effektivkräften abhängige Kräftepaar vor Augen. Das Moment D_{e_6} desselben stellt das auf den Fuß ausgeübte Drehungsmoment der Effektivkräfte dar. —

Bezeichnet man nun die Winkelbeschleunigungen, mit denen bei ebener Bewegung des ganzen Beins der Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß sich in der Periode des Schwingens um ihre Schwerpunkte S_2, S_4 und S_6 drehen, beziehungsweise mit φ_2'', φ_4'' und φ_6'', und versteht man unter $\varkappa_2$, $\varkappa_4$ und $\varkappa_6$ die Trägheitsradien[1]) dieser drei Abschnitte des Beins in Bezug auf die in der Normalstellung zur Medianebene senkrechten (queren) Achsen durch ihre Schwerpunkte, welche nach früheren Untersuchungen Hauptträgheitsradien darstellen[1]), so bestehen zwischen diesen Größen und den auf die drei Abschnitte einwirkenden Drehungsmomenten die folgenden für das rechte Bein geltenden Beziehungen[2]) (Bewegungsgleichungen):

$$m_2 \varkappa_2^2 \cdot \varphi_2'' = D_{m_2} + D_{s_2} + D_{e_2} \text{ (rechter Oberschenkel)}$$
$$m_4 \varkappa_4^2 \cdot \varphi_4'' = D_{m_4} + D_{s_4} + D_{e_4} \text{ (rechter Unterschenkel)}$$
$$m_6 \varkappa_6^2 \cdot \varphi_6'' = D_{m_6} + D_{s_6} + D_{e_6} \text{ (rechter Fuß).}$$

Für die Schwingung des linken Beins, wo die drei Teile mit den Nummern 3, 5 und 7 versehen sind, lauten die Bewegungsgleichungen entsprechend:

$$m_3 \varkappa_3^2 \cdot \varphi'' = D_{m_3} + D_{s_3} + D_{e_3} \text{ (linker Oberschenkel)}$$
$$m_5 \varkappa_5^2 \cdot \varphi'' = D_{m_5} + D_{s_5} + D_{e_5} \text{ (linker Unterschenkel)}$$
$$m_7 \varkappa_7^2 \cdot \varphi'' = D_{m_7} + D_{s_7} + D_{e_7} \text{ (linker Fuß).}$$

Dies sind die Bewegungsgleichungen der drei Hauptabschnitte des Beins in der Form, wie sie zur Entscheidung der Frage, ob die Schwingung des Beins beim Gehen eine reine Pendelschwingung ist, oder ob nennenswerte Muskelaktionen dabei im Spiele sind, am geeignetsten erscheint. Unter den in jeder Bewegungsgleichung auftretenden vier veränderlichen Größen φ'', D_m, D_s und D_e lassen sich nun drei für jeden Moment der Schwingungsbewegung auf empirischem Wege bestimmen, nämlich die Winkelbeschleunigung

1) Vgl. Abhandlungen der math.-phys. Klasse der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften Bd. XVIII Nr. VIII.

2) IV. Teil, Seite 509.

Digitized by Google

φ'', das Drehungsmoment D_s der Schwere und das resultierende Drehungsmoment D_e der Effektivkräfte. Man kann daher die Gleichung dazu verwenden, das nicht empirisch bestimmbare resultierende Drehungsmoment D_m der auf den betreffenden Körperteil einwirkenden Muskeln zu berechnen. Aus den Gleichungen ergibt sich zu diesem Zwecke ganz allgemein

$$D_{m_i} = m_i \varkappa_i^2 \varphi_i'' - D_{s_i} - D_{e_i},$$

welche Formel für jeden Abschnitt des rechten oder linken Beins gilt, gleichgültig welchen Index i die in derselben vorkommenden Größen tragen.

Um die Winkelbeschleunigung φ'' für die einzelnen Momente der Schwingung des Beins zu bestimmen, hat man sich zunächst die Winkel φ selbst zu verschaffen, welche die Längsachse des betreffenden Gliedes in den successiven Bewegungsphasen mit der Vertikalen bildet. Dies ist schon für alle drei Abschnitte des Beins ausgeführt und im III. Teil mitgeteilt worden. Aus diesen Werten von φ kann man nun auf graphischem Wege die Werte der Winkelgeschwindigkeiten φ', und aus letzteren wiederum die Werte der Winkelbeschleunigungen φ'' für die ganze Periode des Schwingens ableiten. Die Resultate dieser Bestimmung finden sich im nächsten Abschnitt mitgeteilt.

Zur Bestimmung der Drehungsmomente D_s der Schwere sind schon alle empirischen Unterlagen gegeben. Man kennt die Gewichte und die Längen der drei Abschnitte des Beins, sodaß man die Lage der partiellen Hauptpunkte H_2' des Oberschenkels (vgl. Figur 3) und H_4'' des Unterschenkels (vgl. Figur 5) leicht ermitteln kann. Man kennt ferner nach dem eben Gesagten die Werte des Winkels φ für alle drei Abschnitte und ist dadurch in den Stand gesetzt, die Größe der Hebelarme der von der Schwere hervorgerufenen Kräftepaare zu bestimmen. Da die Gewichtskräfte immer vertikal gerichtet sind, so besitzen diese Hebelarme stets horizontale Richtung. Zur Messung ihrer Länge hat man daher beim Oberschenkel die Länge der Strecke HH_2' mit $\sin \varphi_2$, beim Unterschenkel die Länge der Strecke KH_4'' mit $\sin \varphi_4$ und beim Fuß die Länge der Strecke FS_6 mit $\sin \varphi_6$ zu multiplizieren, wie man leicht im Hinblick auf die Figuren 3, 5 und 7 bestätigen wird.

Die Bestimmung der Drehungsmomente D_e erfordert nach den obigen Auseinandersetzungen die Kenntnis der Beschleunigungen

Digitized by Google

sowohl der Einzelschwerpunkte der drei Abschnitte des Beins als auch des Schwerpunktes vom System Unterschenkel plus Fuß. Es genügt aber, allein die Beschleunigungen der Schwerpunkte des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes auf empirischem Wege abzuleiten, da die des Schwerpunktes vom System Unterschenkel plus Fuß sich aus denselben durch Rechnung bestimmen läßt. Die Ableitung der Schwerpunktsbeschleunigungen kann unter Benutzung der im II. Teil in den Tabellen 1, 2 und 5 niedergelegten Koordinaten der Einzelschwerpunkte in der schon im II. und IV. Teil angewendeten Weise graphisch so ausgeführt werden, daß man zunächst zu den in die Richtungen der Koordinatenachsen fallenden Komponenten der Beschleunigungen gelangt. Da die Bewegung des Schwingens für die Bestimmung der auf das Bein einwirkenden Drehungsmomente in erster Annäherung als ebene Bewegungen aufgefaßt werden soll, so braucht man hierbei die seitlich gerichteten (y) Koordinaten gar nicht in Betracht zu ziehen, sondern kann sich bei der Untersuchung auf die Bestimmung der in die Gangrichtung und die vertikale Richtung fallenden Geschwindigkeits- und Beschleunigungskomponenten beschränken. Entsprechend der Zerlegung der Beschleunigungen in je zwei Komponenten kann man auch jedes der beiden beim Oberschenkel und Unterschenkel in Betracht kommenden Kräftepaare der Effektivkräfte wiederum in zwei Kräftepaare zerlegen. Dies ist deshalb von Vorteil für die Bestimmung des resultierenden Drehungsmomentes D_s, weil dann die Hebelarme aller Kräftepaare entweder vertikal oder horizontal gerichtet sind und sich mit Hilfe der Winkel φ leicht berechnen lassen.

Man erkennt aus dem eben Gesagten, daß die ausreichenden Grundlagen für die kinetische Untersuchung der Schwingungsbewegung des Beins erbracht sind, wenn man einerseits die Winkelbeschleunigungen der Drehungen des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes um ihre Schwerpunkte, und andererseits die Komponenten der linearen Beschleunigungen dieser Schwerpunkte selbst bestimmt hat. Das erstere soll im III. Abschnitt, das letztere im IV. Abschnitt der vorliegenden Arbeit geschehen.

Digitized by Google

III. Die Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen, mit denen sich die drei Abschnitte des Beins während der Periode des Schwingens drehen.

Um die Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen der einzelnen Abschnitte des Beins bestimmen zu können, muß man zunächst die Winkel φ_3, φ_4 und φ_6 (beziehungsweise φ_3, φ_5 und φ_7), welche die Längsachsen derselben mit der Vertikalen bilden, im Bogenmaß ausdrücken. Man versteht dabei bekanntlich unter der Einheit des Winkels denjenigen, welcher aus einem um seinen Scheitelpunkt gelegten Kreis einen Bogen gleich dem Radius dieses Kreises ausschneidet. Macht man den Radius von vornherein gleich der Längeneinheit, so kann man auch sagen, daß die Winkeleinheit derjenige Winkel ist, welcher aus dem Kreis mit der Längeneinheit als Radius (Einheitskreis) einen Bogen gleich der Längeneinheit abschneidet; es stimmt dann für einen beliebigen Winkel die Maßzahl des im Bogenmaß gemessenen Winkels mit der Maßzahl des Bogens vom Einheitskreis überein. Da der Länge des Halbkreises die Maßzahl π zukommt, so entspricht also dem Winkel π im gewöhnlichen Maß ein Winkel von 180^0, und der Winkel 1 besitzt $\frac{180^0}{\pi} = 57^0{,}296$. Andererseits kommt im Bogenmaß einem Winkel von 1^0 die Maßzahl $\frac{\pi}{180} = 0{,}017453$, und folglich einem Winkel von α^0 die Maßzahl $0{,}017453\,\alpha$ zu. Man muß daher die Anzahl der Grade eines Winkels mit der Zahl 0,017453 multiplizieren, um die Maßzahl desselben im Bogenmaß zu erhalten.

Dies ist für die Winkel φ, soweit sie der Periode des Schwingens angehören, ausgeführt worden. Bei allen unseren chronophotographischen Aufnahmen war nur die im Verlauf eines Doppelschrittes stattfindende Schwingung des linken Beins von Anfang bis zu Ende registriert worden; von der Schwingung des rechten Beins waren dagegen nur Bruchstücke auf den Bildern vorhanden. Der Anfang der Aufnahmen fiel nämlich stets in die

Digitized by Google

Periode des Schwingens des rechten Beins hinein, sodaß von dieser im allgemeinen nur etwas mehr als die zweite Hälfte aufgenommen wurde; dafür erstreckten sich aber die Aufnahmen auch auf einen Teil der folgenden Periode des Schwingens des rechten Beins, der stets groß genug war, um den Teil der vorhergehenden Periode zu der ganzen Schwingungsbewegung zu ergänzen. Dies geht schon daraus hervor, daß die Aufnahmen stets etwas mehr als einen Doppelschritt darboten. Man ist nun hierdurch in den Stand gesetzt, auch die ganze Schwingung des rechten Beins der Untersuchung zu unterziehen; man braucht zu diesem Zwecke nur die im Anfang der Aufnahmen gewonnenen Bewegungsphasen aus der zweiten Hälfte der Schwingung zeitlich um die Dauer eines Doppelschrittes hinauszuschieben und mit den zu Ende der Aufnahmen gewonnenen Phasen aus der ersten Hälfte der Schwingung zusammenzustellen. Die beiden so erhaltenen Teile werden sogar etwas über einander greifen, und man kann hierdurch erkennen, inwieweit die spätere Schwingungsbewegung die genaue Wiederholung der vorhergehenden darstellt. Vollkommene Übereinstimmung der beiden übereinandergreifenden Teile kann natürlich kaum erwartet werden, da die geringste Unebenheit des Fußbodens z. B. schon Abweichungen in den vertikalen Koordinaten der einzelnen Punkte des Beins bedingen muß, die bei der großen Genauigkeit, welche bei unserer Koordinatenbestimmung erzielt worden war, natürlich zu erkennen sein werden. Immerhin sind die Verschiedenheiten in den um die Dauer eines Doppelschritts zeitlich von einander entfernten Bewegungsphasen nicht sehr groß, wie sich bei der Konstruktion der oberen Diagramme der Tafeln I bis III herausstellte.

Beim I. Versuch begann die Schwingung des rechten Beins mit der 25 ten Phase (S_r)[1]), d. h. also 0,920 sec nach der ersten zur genaueren Untersuchung herausgegriffenen Bewegungsphase. Das Aufsetzen des rechten Beins fand in der 10 ten Phase (R), also zu der Zeit von 0,345 sec statt. Verschiebt man den letzteren Moment zeitlich um die doppelte Schrittdauer von 0,990 sec, so fällt das Aufsetzen auf die Zeit von 1,335 sec. Die Schwingungsdauer des rechten Beins beträgt also 0,415 sec. Das linke Bein

1) Man vergleiche für diese und die folgenden Angaben die Tabellen 8 und 9 auf Seite 82, die Tabelle 10 auf Seite 84 und die Angaben auf Seite 67 des II. Teils.

Digitized by Google

begann beim I. Versuch seine Schwingung (S_1) zwischen der 12ten und 13ten Phase zur Zeit 0,426 sec, das Aufsetzen des Beins (L) fiel in die 23te Phase zur Zeit 0,843. Die Dauer der Schwingung des linken Beins betrug also 0,417 sec. Da sich als Unterschied zwischen beiden Schwingungsdauern nur 0,002 sec herausstellt, so kann man die Dauer der Schwingung des rechten Beins als übereinstimmend mit der des linken Beins auffassen.

In der folgenden Tabelle 3 sind nun die Winkel φ unter Zugrundelegung der Tabelle 2 auf den Seiten 149 und 150 des III. Teils, soweit sie sich auf die Periode des Schwingens beziehen, in Bogenmaß aufgezeichnet worden. Wo der Anfang oder das Ende dieser Periode nicht genau mit einer der bei der Aufnahme gewonnenen 31 Bewegungsphasen zusammentraf, ist die nächstliegende Phase außerhalb der Schwingungsperiode mit aufgenommen, um durch Interpolation die Anfangs- oder Endphase auffinden zu können. Gleichzeitig finden sich die Zeiten nach der Tabelle 8 auf Seite 82 des II. Teils mit aufgezeichnet, und zwar sind für das rechte Bein die zu den Nummern 1 bis 10 gehörenden Zeiten durch Vermehrung um die doppelte Schrittdauer von 0,990 sec auf die spätere Schwingungsperiode bezogen worden.

Tabelle 3. **Werte der Winkel φ in Bogenmaß in der Periode des Schwingens beim I. Versuch.**

Nr.	Zeit in sec	r. Oberschenkel φ_2	r. Unterschenkel φ_4	r. Fuß φ_6	Nr.	Zeit in sec	l. Oberschenkel φ_3	l. Unterschenkel φ_5	l. Fuß φ_7
25	0,920	−0,289	−0,829	−0,251	12	0,422	−0,333	−0,777	−0,232
26	0,958	−0,135	−0,978	−0,407	13	0,460	−0,199	−0,908	−0,347
27	0,997	−0,003	−0,990	−0,383	14	0,498	−0,063	−0,927	−0,333
28	1,035	+0,117	−0,894	−0,236	15	0,537	+0,071	−0,819	−0,162
29	1,073	+0,214	−0,744	−0,026	16	0,575	+0,159	−0,675	+0,017
30	1,112	+0,310	−0,551	+0,213	17	0,613	+0,281	−0,467	+0,270
31	1,150	+0,381	−0,320	+0,453	18	0,652	+0,360	−0,257	+0,512
					19	0,690	+0,409	−0,008	+0,757
1	0,990	−0,006	−0,997	−0,405	20	0,728	+0,407	+0,266	+1,013
2	1,028	+0,123	−0,910	−0,258	21	0,767	+0,376	+0,492	+1,235
3	1,067	+0,241	−0,749	−0,038	22	0,805	+0,388	+0,516	+1,260
4	1,105	+0,334	−0,545	+0,193	23	0,843	+0,447	+0,358	+1,145
5	1,143	+0,408	−0,306	+0,458					
6	1,182	+0,456	−0,049	+0,695					
7	1,220	+0,466	+0,223	+0,927					
8	1,258	+0,464	+0,460	+1,141					
9	1,297	+0,483	+0,491	+1,178					
10	1,335	+0,529	+0,343	+1,082					

Digitized by Google

Beim II. Versuch lagen die Momente S_r und R in der 26 ten Phase und zwischen der 11 ten und 12 ten Phase; die zugehörigen Zeiten waren 0,958 sec und 0,396 sec. Vermehrt man die letztere Zeit um die doppelte Schrittdauer, welche beim II. Versuch 0,970 sec betrug, so erhält man 1,366 sec und als Schwingungsdauer des rechten Beins 0,408 sec. Für das linke Bein lag der Anfang der Schwingung zwischen der 13 ten und 14 ten Phase, und zwar zur Zeit von 0,473 sec, das Ende dagegen fiel mit der 24 ten Phase, also mit der Zeit von 0,882 sec zusammen, sodaß die Schwingungsdauer 0,409 sec betrug.

In gleicher Weise wie in der vorigen Tabelle sind nun in Tabelle 4 die Werte der Winkel φ für die in die Schwingungsperioden fallenden Phasen in Bogenmaß aufgezeichnet und den Nummern die Zeiten beigeschrieben worden, wobei die in die Schwingung des rechten Beins fallenden Phasen 1 bis 12 durch Vermehrung der Zeiten um 0,970 sec wiederum auf die folgende Periode bezogen worden sind.

Tabelle 4. **Werte der Winkel φ in Bogenmaß in der Periode des Schwingens beim II. Versuch.**

Nr.	Zeit in sec	r. Oberschenkel φ_3	r. Unterschenkel φ_4	r. Fuß φ_6	Nr.	Zeit in sec	l. Oberschenkel φ_8	l. Unterschenkel φ_9	l. Fuß φ_7
26	0,958	−0,243	−0,852	−0,287	13	0,460	−0,326	−0,740	−0,146
27	0,997	−0,090	−0,994	−0,401	14	0,498	−0,202	−0,882	−0,313
28	1,035	+0,054	−0,995	−0,380	15	0,537	−0,044	−0,937	−0,352
29	1,073	+0,168	−0,895	−0,231	16	0,575	+0,084	−0,850	−0,214
30	1,112	+0,266	−0,736	−0,015	17	0,613	+0,195	−0,693	−0,013
31	1,150	+0,356	−0,520	+0,223	18	0,652	+0,295	−0,497	+0,218
					19	0,690	+0,374	−0,269	+0,485
1	0,970	−0,213	−0,889	−0,352	20	0,728	+0,418	−0,017	+0,742
2	1,008	−0,105	−0,987	−0,399	21	0,767	+0,412	+0,242	+1,004
3	1,047	+0,023	−0,952	−0,338	22	0,805	+0,377	+0,471	+1,212
4	1,085	+0,164	−0,825	−0,151	23	0,843	+0,393	+0,502	+1,273
5	1,123	+0,275	−0,651	+0,068	24	0,882	+0,450	+0,352	+1,148
6	1,162	+0,371	−0,430	+0,312					
7	1,200	+0,431	−0,171	+0,576					
8	1,238	+0,451	+0,079	+0,801					
9	1,277	+0,445	+0,374	+1,041					
10	1,315	+0,448	+0,509	+1,175					
11	1,353	+0,509	+0,388	+1,086					
12	1,392	+0,518	+0,278	+0,942					

Endlich lagen beim III. Versuch der Anfang der Schwingung des rechten Beins kurz vor der 24 ten Phase, zur Zeit 0,878 sec,

Digitized by Google

und das Ende kurz vor der 9ten Phase, zur Zeit 0,303 sec. Die Dauer eines Doppelschritts betrug $0{,}989_5$, sodaß dem Ende der Schwingung in der späteren Periode die Zeit $1{,}292_5$ sec entsprechen würde. Die Schwingungsdauer des rechten Beins betrug daher $0{,}414_5$ sec. Der Anfang der Schwingung des linken Beins fiel mit der 11ten Phase zur Zeit 0,383 sec zusammen, und das Ende derselben fand zwischen der 21ten und 22ten Phase zur Zeit 0,796 sec statt, sodaß die Schwingungsdauer des linken Beins 0,413 sec betrug.

In der folgenden Tabelle 5 finden sich nun für die den Schwingungsperioden angehörenden Phasen die Werte der Winkel φ in Bogenmaß unter gleichzeitiger Angabe der Zeiten niedergelegt. Die zu den Nummern 1 bis 9 gehörenden Zeiten sind durch Vermehrung um $0{,}989_5$ sec auf die spätere Schwingungsperiode bezogen worden.

Tabelle 5. **Werte der Winkel φ in Bogenmaß in der Periode des Schwingens beim III. Versuch.**

Nr.	Zeit in sec	r. Oberschenkel φ_3	r. Unterschenkel φ_4	r. Fuß φ_6	Nr.	Zeit in sec	l. Oberschenkel φ_3	l. Unterschenkel φ_5	l. Fuß φ_7
23	0,843	−0,441	−0,544	+0,074	11	0,383	−0,251	−0,840	−0,215
24	0,882	−0,344	−0,691	−0,219	12	0,422	−0,108	−0,980	−0,312
25	0,920	−0,203	−0,818	−0,333	13	0,460	+0,034	−0,984	−0,267
26	0,958	−0,062	−0,823	−0,310	14	0,498	+0,150	−0,883	−0,137
27	0,997	+0,051	−0,723	−0,163	15	0,537	+0,260	−0,724	+0,062
28	1,035	+0,152	−0,577	+0,022	16	0,575	+0,347	−0,520	+0,308
29	1,073	+0,239	−0,381	+0,251	17	0,613	+0,403	−0,283	+0,554
30	1,112	+0,302	−0,152	+0,481	18	0,652	+0,427	−0,028	+0,819
31	1,150	+0,339	+0,094	+0,728	19	0,690	+0,412	+0,247	+1,092
					20	0,728	+0,369	+0,455	+1,268
1	$0{,}989_5$	+0,028	−0,767	−0,177	21	0,767	+0,371	+0,459	+1,287
2	$1{,}027_5$	+0,143	−0,599	+0,038	22	0,805	+0,390	+0,353	+1,159
3	$1{,}066_5$	+0,244	−0,391	+0,290					
4	$1{,}104_5$	+0,310	−0,158	+0,531					
5	$1{,}142_5$	+0,337	+0,100	+0,768					
6	$1{,}181_5$	+0,326	+0,358	+0,998					
7	$1{,}219_5$	+0,303	+0,551	+1,191					
8	$1{,}257_5$	+0,340	+0,536	+1,189					
9	$1{,}296_5$	+0,391	+0,411	+1,042					

Zum Zwecke der Ableitung der Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen sind nun auf Grund der Tabellen 3, 4 und 5 die Diagramme aufgezeichnet worden, welche die Abhängigkeit der Richtungswinkel φ von der Zeit in der Periode

Digitized by Google

des Schwingens graphisch darstellen. Dabei sind, wie schon früher bei anderen Diagrammen, die Abszissen so der Zeit proportional angenommen worden, daß 1 sec. durch die Länge von 1 dm und folglich 0,01 sec. durch die Länge von 1 mm dargestellt ist. Die Ordinaten, welche den Werten der Richtungswinkel φ entsprechen, sind ferner so bemessen worden, daß der Winkel 1 ebenfalls durch die Länge von 1 dm dargestellt ist. Die Ordinate von 1 mm repräsentiert daher den Winkel 0,01 im Bogenmaß, der mit einem Winkel von abgerundet $0{,}573^0$ gleichbedeutend ist.

Es sind alle Diagramme auf einer Tafel vereinigt worden, welche zu demselben Abschnitt des Beins, aber zu verschiedenen Versuchen gehören, um die Vergleichung der bei den drei Versuchen gewonnenen Resultate zu erleichtern. So finden sich auf Tafel I alle Diagramme für die Richtungswinkel des Oberschenkels, auf Tafel II die entsprechenden Diagramme für den Unterschenkel und auf Tafel III die zum Fuß gehörenden aufgezeichnet. Für die Abschnitte der rechten Extremität ist stets das linke und für die der linken Extremität das rechte Feld bei einer jeden Tafel verwendet worden und zwar so, daß die den drei Versuchen entsprechenden gleichnamigen Diagramme sich nebeneinander befinden. Alle Diagramme sind durch die beiden mit S_r und R, bezüglich S_l und L bezeichneten Vertikalen begrenzt, welche in derselben Weise wie bei den Wegkurven im II. und IV. Teil dieser Untersuchung die Momente des Anfangs und Endes einer jeden Schwingungsbewegung beim rechten, bezüglich linken Bein markieren. Dementsprechend sind auch die ganz unten an den begrenzenden Vertikalen angebrachten Zeitangaben gemacht worden; dieselben beziehen sich also zunächst noch auf den Moment der ersten bei einem jeden Versuch erhaltenen Bewegungsphase als Nullpunkt für die Zeitmessung. Die anderen Zahlen dagegen, welche unten an den um je 5 mm von einander entfernten Ordinaten stehen, geben die Anzahl der Hundertstel von Sekunden an, welche vom Anfang der Schwingung, d. h. also vom Moment S_r bezüglich S_l an verflossen sind. Hierdurch wird die Vergleichung der 6 neben einander stehenden, zu verschiedenen Versuchen oder verschiedenen Körperseiten gehörenden Diagramme erleichtert. Da die Schwingungsdauern in den 6 Fällen mit größter Annäherung gleich sind, so beziehen sich zwei unten mit gleichen Nummern versehene

Digitized by Google

Ordinaten der 6 verschiedenen Diagrammfelder immer auf die gleiche Phase des Schwingungsvorganges.

Für die Konstruktion der Diagramme sind zunächst die Punkte im Koordinatensystem markiert worden, welche den in den Tabellen 3, 4 und 5 niedergelegten zusammengehörigen Werten der Richtungswinkel φ und der Zeit entsprechen. Darauf sind die Diagramme unter Vermeidung kleiner Buckel in möglichst zarter, gleichmäßig geschwungener Linie durch die Punkte hindurchgezogen worden. Bei den rechten Extremitätenabschnitten, wo die Punkte zu zwei getrennten, um die Dauer eines Doppelschrittes zeitlich auseinanderliegenden Teilen gehören, die in den Diagrammen etwas übereinandergreifen, wurde die Linie an den Überlagerungsstellen möglichst in der Mitte durch die nicht vollkommen kongruenten, aber einander sehr nahe liegenden Kurvenzüge hindurchgeführt.

Aus den Diagrammen für die Winkel φ sind nun in der schon früher[1]) ausführlich beschriebenen Weise durch Messung der Tangentenrichtungen für eine genügend große Anzahl von Punkten die Winkelgeschwindigkeiten bestimmt worden. Daß die Winkelgeschwindigkeiten φ' sich in der gleichen Weise aus den Diagrammen für die Winkel φ ableiten lassen, wie die linearen Geschwindigkeiten aus den Wegkurven, folgt unmittelbar aus der Bedeutung derselben. Bei der fortschreitenden Bewegung des Schwerpunktes eines Körperteils versteht man unter der Geschwindigkeit das Verhältnis des in einer sehr kleinen (unendlich kleinen) Zeit zurückgelegten Weges zu der dazu gebrauchten Zeit, oder mit anderen Worten den Differentialquotienten des Weges nach der Zeit. Bei der ebenen Drehbewegung eines Körperteils versteht man nun entsprechend unter der Winkelgeschwindigkeit das Verhältnis des in einer sehr kleinen (unendlich kleinen) Zeit von der Längsachse desselben beschriebenen Winkels (Veränderung des Winkels φ) zu der dazu gebrauchten Zeit, oder mit anderen Worten den Differentialquotienten des Winkels nach der Zeit. Hat man daher die Abhängigkeit des Winkels φ von der Zeit graphisch dargestellt, so sind nach einem bekannten geometrischen Satze die Winkelgeschwindigkeiten φ' den trigonometrischen Tangenten der Winkel φ proportional, welche die Tangenten in den verschiedenen Punkten des Diagramms mit der Abszissenachse bilden.

1) Vgl. Teil II, Seite 88 ff.

Digitized by Google

Hat man nun durch Bestimmung der Tangentenrichtung für eine genügend große Zahl von Werten der Zeit die zugehörigen Werte der Winkelgeschwindigkeit φ' ermittelt, so kann man sich die Abhängigkeit der letzteren von der Zeit wiederum durch ein Diagramm in der Weise graphisch veranschaulichen, daß man die Abszissen der Zeit und die Ordinaten der Winkelgeschwindigkeit proportional annimmt. Dies ist auf den Tafeln I, II und III für die drei Abschnitte des Beins ausgeführt worden. Die Diagramme befinden sich direkt unter den Diagrammen für die Winkel φ, aus denen sie abgeleitet sind. Der Zeit von 1 sec. entspricht auch hier wieder die Abszissenlänge von 1 dm, so daß die Länge von 1 mm die Zeit von 0,01 sec. repräsentiert. Die Einheit der Winkelgeschwindigkeit findet sich dagegen durch eine Ordinatenlänge von 1 cm dargestellt, so daß der Länge von 1 mm die Winkelgeschwindigkeit 0,1 entspricht. Unter der Einheit der Winkelgeschwindigkeit hat man dabei diejenige zu verstehen, welche ein Körperteil besitzen würde, wenn seine Längsachse bei gleichförmiger, weder beschleunigter, noch verzögerter ebener Drehung in jeder Sekunde ihre Richtung um den Winkel 1, d. h. also um $57,^{\circ}296$ änderte. Ein Körper, der bei gleichförmiger Drehung in jeder Sekunde eine volle Umdrehung ausführen würde, besäße demnach die Winkelgeschwindigkeit 2π, und ein solcher, der sich in der Sekunde n mal gleichförmig herumdrehen würde, die Winkelgeschwindigkeit $2n\pi$.

Aus den Diagrammen für die Winkelgeschwindigkeiten φ' lassen sich nun endlich die Winkelbeschleunigungen φ'' in gleicher Weise gewinnen, wie man die ersteren aus den Diagrammen für die Winkel φ selbst abgeleitet hat. Denn unter der Winkelbeschleunigung versteht man das Verhältnis der in einer sehr kleinen (unendlich kleinen) Zeit erfolgten Änderung der Winkelgeschwindigkeit zu der dazu gebrauchten Zeit, oder mit anderen Worten den Differentialquotienten der Winkelgeschwindigkeit nach der Zeit. Man hat daher wiederum nur die Tangentenrichtungen in den Diagrammen für die Winkelgeschwindigkeiten zu messen, um die zugehörigen Winkelbeschleunigungen zu erhalten. Dies ist für eine genügende Anzahl von Punkten ausgeführt worden; die Resultate dieser Messung finden sich ebenfalls in Form von Diagrammen unter den entsprechenden Diagrammen für die Winkelgeschwindigkeiten niedergelegt. Auch bei diesen Dia-

Digitized by Google

grammen für die Winkelbeschleunigungen besitzen die der Zeit proportionalen Abszissen für je $\frac{1}{100}$ sec. die Länge von 1 mm. Die Einheit der Winkelbeschleunigung ist hier in den meisten Fällen nur durch 0,1 mm dargestellt, so daß die Länge von 1 mm schon die Winkelbeschleunigung 10 repräsentiert. Nur bei den zur Drehung des Oberschenkels gehörenden Diagrammen für die Winkelbeschleunigung (Tafel I) findet sich die Länge von 1 mm auch zur Darstellung der Einheit der Winkelbeschleunigung verwendet, da die Werte der vom Oberschenkel erreichten Winkelbeschleunigung im allgemeinen nicht so groß sind als beim Unterschenkel und Fuß. Um die Diagramme des Oberschenkels aber leichter mit den anderen vergleichen zu können, finden sich beide Arten von Diagrammen verzeichnet; bei den kleinen entspricht 1 mm der Winkelbeschleunigung 10, bei den größeren (punktiert gezeichneten) Diagrammen dagegen der Einheit der Winkelbeschleunigung.

Ein in Drehung befindlicher Körperteil besitzt die Einheit der Winkelbeschleunigung, wenn bei gleichförmig beschleunigter Drehung die Winkelgeschwindigkeit in jeder Sekunde um die Einheit derselben zunehmen würde. Bei Abnahme der Winkelgeschwindigkeit hat man es mit einer verzögerten Drehung zu tun; diese gibt sich in der Maßzahl für die Winkelbeschleunigung durch ein negatives Vorzeichen zu erkennen. Dabei kann die Drehung selbst im positiven Sinne stattfinden, so daß die Winkelgeschwindigkeit positive Werte besitzt.

Zum Verständnis der Tafeln I, II und III sei nochmals ausdrücklich hervorgehoben, daß ein jeder Winkel φ mit positivem Vorzeichen versehen ist, wenn die Längsachse des betreffenden Gliedes von der rechten Seite des Körpers aus im umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger gegen die Vertikale gedreht erscheint. Der Winkel φ_2 ist also positiv oder negativ, je nachdem das Knieende des Oberschenkels sich in der Gangrichtung weiter vorn oder weiter hinten als das Hüftende befindet u. s. w. Als positive Drehung der einzelnen Körperteile oder als solche mit positiver Winkelgeschwindigkeit muß daher eine Drehung aufgefaßt werden, bei welcher sich die Winkel φ vergrößern, d. h. also bei welcher sich die Längsachsen der einzelnen Abschnitte von der rechten Seite aus im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers drehen. Man kann daher aus dem positiven oder negativen Zeichen der Ordinaten der oberen Diagramme direkt erkennen, ob bei der Längs-

Digitized by Google

achse des betreffenden Gliedes das distale oder das proximale Ende sich weiter vorn befindet, und man ersieht aus dem positiven oder negativen Zeichen der Ordinaten der mittleren Diagramme, ob die Drehung in dem betreffenden, durch die zugehörige Abszisse dargestellten Moment von der rechten Seite aus gesehen im umgekehrten Sinne oder in dem gleichen Sinne wie die Uhrzeigerdrehung stattfindet. Das Vorzeichen der Ordinaten in den unteren Diagrammen gibt dagegen an, ob diese Drehung beschleunigt oder verzögert stattfindet.

Aus den Diagrammen auf den Tafeln I, II und III kann man nun rückwärts die Werte der Winkel φ, der Winkelgeschwindigkeiten φ' und der Winkelbeschleunigungen φ'' für jeden beliebigen Moment während der Periode des Schwingens ablesen. Um eine möglichst vollkommene kinematische Grundlage für die spätere kinetische Untersuchung der Schwingungsbewegung der Beine beim Gehen zu erlangen, ist diese Bestimmung für alle in dem Zeitintervall von $\frac{1}{100}$ Sekunde aufeinander folgenden Bewegungsphasen vorgenommen worden. Da im Durchschnitt die Schwingung 0,41 sec. gedauert hat, so waren die Werte der einzelnen Größen mit der Anfangsphase für je 42 Bewegungsphasen zu messen. Die Resultate dieser Messungen sind in den Tabellen 6 bis 11 auf den Seiten 376 bis 381 niedergelegt.

Wie schon oben bei der Beschreibung der Diagramme auf den Tafeln I bis III angedeutet wurde, stellt es sich als zweckmäßig heraus, für die Sonderuntersuchung der Schwingungsbewegung die Zeit in jedem Falle vom Beginn der Schwingung an zu rechnen. Demnach ist bei demselben Versuch der Nullpunkt für die Zeitmessung verschieden anzunehmen, je nachdem es sich um die Schwingung des linken oder um die eine Schrittdauer später beginnende Schwingung des rechten Beins handelt. Es wird eben in einem wie im anderen Falle als Zeit Null derjenige Moment aufgefaßt, in welchem sich das betreffende Bein vom Fußboden ablöst, um nach vorn zu schwingen. Dann entspricht dem Moment des Wiederaufsetzens des Beins in allen Fällen die durchschnittliche Zeitangabe von 0,41 sec. Genauer hat man für diesen Moment, in welchem die Schwingung endigt, beim I. Versuch rechts 0,415 sec und links 0,417 sec, beim II. Versuch rechts 0,408 sec und links 0,409 sec und beim III. Versuch rechts $0{,}414_5$ sec und links 0,413 sec.

Digitized by Google

In den folgenden Tabellen 6 bis 11 ist nun wie auch auf den Tafeln die Anzahl der Hundertstel von Sekunden, welche seit dem Beginn der Schwingung bis zu der betreffenden Bewegungsphase verflossen sind, der letzteren als Nummer beigelegt worden. Diese Zahlen haben also eine durchaus andere Bedeutung, wie die in den früheren Teilen der Untersuchung angewendeten Nummern, welche die Ordnungszahlen der durch die chronophotographische Aufnahme zufällig herausgegriffenen Bewegungsphasen darstellten. Da der ersten in den folgenden Tabellen verzeichneten Bewegungsphase, welche genau den Anfang der Schwingungsbewegung entspricht, die Nummer o beigelegt ist, so geben die anderen Nummern eben direkt die seit dem Beginn der Schwingung verflossene Zeit in Hundertstel von Sekunden an. Es entsprechen daher in den verschiedenen Tabellen die mit gleicher Nummer versehenen Bewegungsphasen der verschiedenen Versuche und Extremitäten mit größter Annäherung auch entsprechenden Momenten des Schwingungsvorganges. Da die mit dem Ende der Schwingung zusammenfallende Bewegungsphase in allen Fällen nicht genau eine ganze Anzahl von Hundertstel Sekunden zeitlich vom Anfang entfernt ist, so ist bei dieser die genauere Zeit hinzugeschrieben worden. So besitzt beim I. Versuch die letzte Bewegungsphase des rechten Beins stets die Nummer 41,5, die des linken Beines die Nummer 41,7 usw.

In den Tafeln sind diese Nummern mit aufgenommen worden. Da in jeder Tafel eine große Anzahl von Diagrammen aufgezeichnet ist, welche sich zum Teil durchschneiden, so ist in den der rechten Extremität beim I. Versuch entsprechenden Koordinatenfeldern die Bedeutung der Diagramme denselben angeschrieben worden. In den übrigen Feldern war dies nicht nötig, weil man sich bei der großen Ähnlichkeit entsprechender Kurven in denselben leicht zurechtfinden wird.

Bei dem geringen Zeitintervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden in den Tabellen aufgenommenen Bewegungsphasen ist man nun auch in den Stand gesetzt, die für die weitere Untersuchung wichtigen Maximal- und Minimalwerte der einzelnen Größen in den Tabellen selbst kenntlich zu machen. Denn wenn auch dieselben in vielen Fällen nicht gerade eine ganze Anzahl von Hundertstel Sekunden vom Anfang der Schwingung zeitlich entfernt sind, und demnach nicht genau einer der in den Tabellen

Digitized by Google

angegebenen Bewegungsphasen entsprechen, so können sie von einer solchen im ungünstigsten Falle doch höchstens um 0,005 sec zeitlich entfernt sein. Man begeht daher keinen beträchtlichen Fehler, wenn man ein solches Maximum oder Minimum derjenigen in den Tabellen aufgezeichneten Bewegungsphase zuweist, welche ihr zeitlich am nächsten liegt. Dies ist in allen solchen Fällen in der Weise ausgeführt worden, daß der der betreffenden Phase zukommende Wert durch den benachbarten Maximal- oder Minimalwert ersetzt worden ist. Infolgedessen konnten besondere Tabellen über diese ausgezeichneten Werte, welche in früheren Teilen der Arbeit bei ähnlichen Gelegenheiten in der Regel beigegeben worden sind, entbehrt werden. Um die Maximal- und Minimalwerte in den Tabellen vor den übrigen Werten kenntlich zu machen, sind sie mit schräg gestellten Ziffern gedruckt worden. Man erlangt hierdurch schon beim bloßem Betrachten einen deutlichen Überblick über das Verhalten der einzelnen Größen im Verlaufe der ganzen Schwindungsperiode.

Da einem jeden Maximum oder Minimum in einer der drei untereinander gezeichneten Diagramme eine Nullstelle in der darunter befindlichen entspricht, so sind auch diese Nullstellen, welche den Spalten der Tabellen für die Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen angehören, in allen solchen Fällen nach der benachbarten in die Tabelle aufgenommenen Bewegungsphase verlegt worden.

Digitized by Google

Tabelle 6.

Drehung der Abschnitte des rechten Beins während der Periode des Schwingens beim I. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	rechter Oberschenkel: Winkel φ_3 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_3'	Winkelbeschleunigung φ_3''	rechter Unterschenkel: Winkel φ_4 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_4'	Winkelbeschleunigung φ_4''	rechter Fuß: Winkel φ_5 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_5'	Winkelbeschleunigung φ_5''	Zeit in 1/100 Sekunden
0	−0,289	+3,05	+ 35	−0,829	−4,67	+ 28	−0,251	−5,90	+117	0
1	−0,252	+3,33	+ 31	−0,873	−4,23	+ 48	−0,323	−5,10	+124	1
2	−0,203	+3,67	+ 24	−0,922	−3,60	+ 60	−0,366	−4,60	+138	2
3	−0,167	+3,89	+ 15	−0,956	−2,92	+ 70	−0,397	−2,20	+*182*	3
4	−0,128	+*4,06*	0	−0,977	−2,10	+ 79	−0,412	−1,00	+128	4
5	−0,091	+4,01	− 13	−0,992	−1,23	+ 90	−*0,417*	0	+ 96	5
6	−0,053	+3,89	− 22	−*1,000*	0	+107	−0,414	+1,00	+ *81*	6
7	−0,019	+3,67	−*25*	−0,999	+0,78	+*197*	−0,402	+1,90	+*117*	7
8	+0,017	+3,48	− 22	−0,992	+1,87	+ 63	−0,377	+2,98	+ 80	8
9	+0,053	+3,28	− 19	−0,973	+2,53	+ 49	−0,361	+3,77	+ 56	9
10	+0,085	+3,15	− 16	−0,945	+2,98	+ 43	−0,301	+4,26	+ 40	10
11	+0,118	+3,00	− 14	−0,911	+3,43	+ 36	−0,255	+4,61	+ 29	11
12	+0,143	+2,89	− 12	−0,872	+3,77	+ 34	−0,203	+4,93	+ 24	12
13	+0,170	+2,77	− 11	−0,836	+4,04	+ 30	−0,151	+5,13	+ 22	13
14	+0,197	+2,66	− 9,6	−0,792	+4,30	+ 26	−0,097	+5,31	+ 19	14
15	+0,221	+2,58	− 8,7	−0,745	+4,52	+ 23	−0,032	+5,48	+ 18	15
16	+0,250	+2,50	− 8,1	−0,700	+4,77	+ 22	+0,025	+5,61	+ 17	16
17	+0,274	+2,41	−*7,8*	−0,650	+5,02	+ 20	+0,089	+5,76	+ 17	17
18	+0,297	+2,32	− 8,0	−0,601	+5,27	+ 19	+0,148	+5,93	+ *16*	18
19	+0,322	+2,23	− 8,3	−0,552	+5,49	+ 18	+0,215	+6,06	+ 17	19
20	+0,343	+2,15	− 8,9	−0,498	+5,71	+ *17*	+0,279	+6,23	+ 18	20
21	+0,368	+2,07	− 9,7	−0,412	+5,93	+ 19	+0,341	+6,39	+ *19*	21
22	+0,387	+1,96	− 11	−0,349	+6,12	+ 22	+0,404	+6,55	+ 17	22
23	+0,406	+1,85	− 13	−0,290	+6,35	+ 25	+0,462	+6,67	+ 15	23
24	+0,422	+1,71	− 15	−0,219	+6,71	+ 28	+0,525	+6,78	+ 12	24
25	+0,439	+1,55	− 17	−0,145	+6,90	+ 33	+0,596	+6,85	+ 8	25
26	+0,452	+1,36	− 20	−0,081	+7,23	+ 47	+0,670	+6,90	+ 4	26
27	+0,461	+1,15	− 26	−0,016	+7,65	+ *54*	+0,732	+*6,92*	0	27
28	+0,465	+0,85	− 35	+0,059	+8,03	+ 23	+0,799	+6,87	− 7	28
29	+0,467	+0,48	−*65*	+0,133	+*8,14*	0	+0,872	+6,75	− 18	29
30	+*0,468*	0	− 45	+0,219	+8,00	− 48	+0,935	+6,52	− 30	30
31	+0,467	−0,21	− 15	+0,312	+7,00	−130	+1,014	+6,16	− 52	31
32	+0,465	−*0,22*	0	+0,377	+5,80	−169	+1,072	+5,30	− 95	32
33	+0,463	−0,08	+ 21	+0,426	+4,60	−182	+1,119	+4,00	−*165*	33
34	+*0,462*	0	+ 33	+0,469	+3,00	−189	+1,153	+2,60	−151	34
35	+0,465	+0,47	+ 38	+0,488	+1,80	−193	+1,174	+1,40	−129	35
36	+0,470	+0,78	+ *39*	+*0,499*	0	−196	+*1,185*	0	−111	36
37	+0,477	+1,22	+ 35	+0,498	−0,80	−198	+1,184	−0,80	− 99	37
38	+0,486	+1,50	+ 20	+0,484	−2,00	−220	+1,175	−1,70	− 87	38
39	+0,501	+*1,54*	0	+0,461	−4,30	−*500*	+1,155	−2,40	− 76	39
40	+0,514	+1,32	− 20	+0,420	−*6,90*	0	+1,130	−3,00	− 68	40
41	+0,526	+0,80	− 60	+0,367	−4,00	+170	+1,098	−3,70	− 64	41
41,5	+0,529	+0,55	− 90	+0,359	−3,80	+250	+1,086	−4,00	− 63	41,5

Digitized by Google

Tabelle 7.

Drehung der Abschnitte des linken Beins während der Periode des Schwingens beim I. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	linker Oberschenkel: Winkel φ_6 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_6'	Winkelbeschleunigung φ_6''	linker Unterschenkel: Winkel φ_5 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_5'	Winkelbeschleunigung φ_5''	linker Fuß: Winkel φ_7 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_7'	Winkelbeschleunigung φ_7''	Zeit in 1/100 Sekunden
0	−0,325	+3,02	+44	−0,790	−4,27	+ 10	−0,250	−4,50	+114	0
1	−0,287	+3,30	+37	−0,824	−3,90	+ 36	−0,289	−3,50	+106	1
2	−0,251	+3,65	+26	−0,869	−3,13	+ 56	−0,320	−2,31	+ 93	2
3	−0,213	+3,87	+14	−0,898	−2,52	+ 65	−0,345	−1,42	+ *80*	3
4	−0,181	+*3,92*	0	−0,920	−1,78	+ 78	−0,354	−0,50	+ 89	4
5	−0,137	+3,85	−13	−0,932	−1,00	+101	−*0,357*	0	+130	5
6	−0,102	+3,69	−*17*	−*0,934*	0	+*120*	−0,351	+1,50	+*140*	6
7	−0,072	+3,54	−14,5	−0,928	+1,19	+ 90	−0,335	+2,52	+ 90	7
8	−0,036	+3,42	−12,4	−0,912	+2,00	+ 63	−0,304	+3,28	+ 60	8
9	−0,002	+3,29	−10,7	−0,885	+2,58	+ 51	−0,263	+3,81	+ 40	9
10	+0,028	+3,19	− 9,6	−0,860	+2,96	+ 43	−0,229	+4,17	+ 31	10
11	+0,061	+3,10	− 8,9	−0,828	+3,35	+ 38	−0,179	+4,45	+ 26	11
12	+0,092	+3,02	− 8,4	−0,791	+3,69	+ 34	−0,133	+4,68	+ *23*	12
13	+0,120	+2,93	− *8,2*	−0,754	+3,99	+ 30	−0,085	+4,93	+ 28	13
14	+0,148	+2,84	− 8,4	−0,712	+4,30	+ 27	−0,033	+5,19	+ 41	14
15	+0,180	+2,75	− 8,8	−0,670	+4,57	+ 25	+0,024	+5,42	+ *46*	15
16	+0,207	+2,64	− 9,5	−0,617	+4,81	+ 22	+0,071	+5,71	+ 40	16
17	+0,229	+2,53	−10,3	−0,571	+5,04	+ 20	+0,140	+5,98	+ 23	17
18	+0,258	+2,40	−11,5	−0,500	+5,26	+ 19	+0,212	+6,18	+ 18	18
19	+0,282	+2,27	−12,7	−0,452	+5,45	+ 18	+0,270	+6,35	+ 14	19
20	+0,304	+2,12	−14,6	−0,401	+5,59	+ 17	+0,339	+6,48	+ 12	20
21	+0,328	+1,98	−16,8	−0,345	+5,76	+ *16*	+0,408	+6,59	+ 11	21
22	+0,345	+1,81	−18,8	−0,294	+5,93	+ 17	+0,468	+6,73	+ 10	22
23	+0,364	+1,64	−21,0	−0,235	+6,12	+ 21	+0,527	+6,83	+ 9	23
24	+0,381	+1,42	−24	−0,170	+6,34	+ 25	+0,592	+6,93	+ 8	24
25	+0,395	+1,13	−27	−0,108	+6,61	+ *30*	+0,612	+7,00	+ 6	25
26	+0,405	+0,81	−30	−0,034	+6,89	+ 27	+0,715	+7,06	+ 4	26
27	+0,411	+0,51	−32,8	+0,025	+7,04	+ 13	+0,779	+7,10	+ 1	27
28	+*0,413*	0	−34,7	+0,102	+*7,07*	0	+0,851	+*7,11*	0	28
29	+0,412	−0,20	−*35,2*	+0,179	+7,00	− 15	+0,920	+7,03	− 18	29
30	+0,408	−0,50	−31,5	+0,240	+6,82	− 28	+0,989	+6,75	− 36	30
31	+0,403	−0,79	−23,0	+0,311	+6,50	− 43	+1,062	+6,30	− 55	31
32	+0,394	−0,98	−10	+0,372	+5,83	− 62	+1,128	+5,59	− 79	32
33	+0,385	−*1,00*	0	+0,438	+5,15	− 82	+1,181	+4,75	−109	33
34	+0,378	−0,84	+25	+0,487	+4,20	−105	+1,230	+3,40	−160	34
35	+0,371	−0,52	+44	+0,523	+2,70	−140	+1,261	+1,90	−*170*	35
36	+*0,370*	0	+70	+0,535	+1,10	−163	+*1,273*	0	−140	36
37	+0,377	+0,75	+*78*	+*0,537*	0	−176	+1,270	−1,20	−103	37
38	+0,391	+1,62	+76	+0,516	−1,90	−193	+1,258	−2,10	− 77	38
39	+0,410	+*1,95*	0	+0,483	−3,80	−*450*	+1,233	−2,90	− 61	39
40	+0,429	+1,88	−30	+0,438	−*6,00*	0	+1,199	−3,40	− 48	40
41	+0,443	+1,31	−80	+0,388	−4,80	+220	+1,165	−4,00	− 40	41
41,7	+0,446	+1,00	−90	+0,365	−2,60	+400	+1,144	−4,40	− 38	41,7

Digitized by Google

Tabelle 8.

Drehung der Abschnitte des rechten Beins während der Periode des Schwingens beim II. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	rechter Oberschenkel: Winkel φ_3 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_3'	Winkelbeschleunigung φ_3''	rechter Unterschenkel: Winkel φ_4 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_4'	Winkelbeschleunigung φ_4''	rechter Fuß: Winkel φ_5 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_5'	Winkelbeschleunigung φ_5''	Zeit in 1/100 Sekunden
0	−0,243	+3,14	+36	−0,852	−4,36	+ 12	−0,287	−4,70	+ 92	0
1	−0,204	+3,48	+30	−0,888	−4,09	+ 37	−0,343	−4,00	+130	1
2	−0,165	+3,71	+23	−0,928	−3,60	+ 55	−0,373	−2,70	+105	2
3	−0,127	+3,93	+16	−0,963	−3,00	+ 67	−0,391	−1,90	+ 82	3
4	−0,090	+4,00	0	−0,983	−2,10	+ 78	−0,101	−0,90	+ 73	4
5	−0,053	+3,93	− 9	−0,997	−1,20	+ 96	−0,403	0	+ 71	5
6	−0,019	+3,80	−23	−1,000	0	+150	−0,398	+0,90	+ 95	6
7	+0,015	+3,51	−21	−0,997	+0,95	+ 85	−0,385	+1,97	+117	7
8	+0,048	+3,34	−18	−0,982	+1,70	+ 67	−0,364	+3,00	+ 85	8
9	+0,080	+3,19	−15,5	−0,965	+2,30	+ 57	−0,329	+3,75	+ 59	9
10	+0,107	+3,02	−13,7	−0,939	+2,82	+ 49	−0,289	+4,25	+ 42	10
11	+0,138	+2,91	−12,2	−0,902	+2,27	+ 42	−0,242	+4,80	+ 30	11
12	+0,169	+2,80	−10,8	−0,864	+3,78	+ 36	−0,192	+5,06	+ 22	12
13	+0,195	+2,70	− 9,6	−0,823	+4,04	+ 32	−0,129	+5,27	+ 17	13
14	+0,223	+2,61	− 9,0	−0,783	+4,37	+ 28	−0,076	+5,41	+ 15	14
15	+0,249	+2,51	− 8,8	−0,736	+4,64	+ 26	−0,013	+5,54	+ 14	15
16	+0,272	+2,42	− 8,7	−0,687	+4,90	+ 22	+0,048	+5,69	+ 14	16
17	+0,295	+2,32	− 9,0	−0,638	+5,23	+ 20	+0,110	+5,82	+ 13	17
18	+0,317	+2,21	− 9,8	−0,579	+5,49	+ 19	+0,165	+5,95	+ 16	18
19	+0,338	+2,11	−10,8	−0,531	+5,78	+ 18	+0,209	+6,08	+ 17	19
20	+0,359	+2,00	−12,4	−0,459	+6,02	+ 17	+0,280	+6,22	+ 18	20
21	+0,378	+1,88	−14	−0,400	+6,25	+ 19	+0,338	+6,39	+ 19	21
22	+0,394	+1,74	−16	−0,321	+6,48	+ 22	+0,419	+6,54	+ 14	22
23	+0,410	+1,60	−19	−0,252	+6,71	+ 26	+0,479	+6,63	+ 10	23
24	+0,427	+1,43	−22	−0,182	+7,00	+ 32	+0,543	+6,75	+ 8	24
25	+0,438	+1,21	−26	−0,115	+7,38	+ 43	+0,610	+6,81	+ 6	25
26	+0,447	+0,93	−32	−0,051	+7,78	+ 50	+0,670	+6,86	+ 5	26
27	+0,451	+0,60	−40	+0,009	+8,25	+ 35	+0,729	+6,87	+ 3	27
28	+0,453	+0,24	−53	+0,088	+8,38	0	+0,798	+6,88	0	28
29	+0,454	0	−38	+0,172	+8,32	− 26	+0,869	+6,80	− 11	29
30	+0,453	−0,30	−21	+0,249	+7,60	−120	+0,932	+6,62	− 20	30
31	+0,449	−0,39	0	+0,328	+6,55	−175	+0,988	+6,33	− 31	31
32	+0,446	−0,36	+16	+0,390	+5,60	−186	+1,051	+5,90	− 57	32
33	+0,442	−0,21	+34	+0,439	+4,60	−191	+1,114	+4,70	−116	33
34	+0,440	0	+51	+0,476	+3,70	−195	+1,153	+3,00	−220	34
35	+0,443	+0,45	+58	+0,501	+1,40	−197	+1,172	+1,10	−157	35
36	+0,452	+0,98	+58,7	+0,513	0	−200	+1,175	0	−118	36
37	+0,467	+1,75	+56	+0,510	−1,20	−209	+1,165	−1,50	−102	37
38	+0,485	+1,97	0	+0,483	−3,50	−268	+1,144	−2,49	− 92	38
39	+0,501	+1,88	−35	+0,437	−7,00	−450	+1,113	−3,40	− 85	39
40	+0,514	+1,50	−65	+0,358	−4,70	0	+1,065	−4,05	− 79	40
40,8	+0,518	+1,00	−76	+0,333	−2,87	+ 360	+1,040	−4,70	− 78	40,8

Digitized by Google

Tabelle 9.

Drehung der Abschnitte des linken Beins während der Periode des Schwingens beim II. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	linker Oberschenkel: Winkel φ_3 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_3'	Winkelbeschleunigung φ_3''	linker Unterschenkel: Winkel φ_5 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_5'	Winkelbeschleunigung φ_5''	linker Fuß: Winkel φ_7 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_7'	Winkelbeschleunigung φ_7''	Zeit in 1/100 Sekunden
0	−0,290	+2,90	+41	−0,789	−4,20	0	−0,223	−4,70	+ 88	0
1	−0,258	+3,20	+33	−0,827	−4,02	+ 25	−0,255	−4,10	+ 77	1
2	−0,227	+3,52	+23	−0,859	−3,55	+ 43	−0,297	−3,35	+ 70	2
3	−0,185	+3,73	+12	−0,890	−3,04	+ 63	−0,323	−2,60	+ 81	3
4	−0,149	+3,97	0	−0,919	−2,20	+ 81	−0,353	−1,70	+101	4
5	−0,108	+3,95	− 8	−0,934	−1,20	+107	−0,361	0	+132	5
6	−0,069	+3,85	−18	−0,938	0	+150	−0,357	+1,50	+220	6
7	−0,030	+3,72	−17,5	−0,928	+1,50	+ 91	−0,336	+2,50	+ 85	7
8	+0,003	+3,56	−15,3	−0,909	+2,25	+ 59	−0,308	+3,25	+ 59	8
9	+0,036	+3,40	−12,9	−0,883	+2,75	+ 48	−0,271	+3,67	+ 47	9
10	+0,070	+3,29	−11,7	−0,858	+3,30	+ 41	−0,228	+4,15	+ 38	10
11	+0,100	+3,17	−10,7	−0,822	+3,65	+ 35	−0,176	+4,50	+ 31	11
12	+0,130	+3,08	−10,1	−0,779	+4,00	+ 31	−0,131	+4,80	+ 26	12
13	+0,161	+2,97	− 9,8	−0,732	+4,35	+ 27	−0,081	+5,05	+ 23	13
14	+0,194	+2,87	− 9,9	−0,689	+4,60	+ 23	−0,023	+5,30	+ 20	14
15	+0,221	+2,76	−10,5	−0,641	+4,82	+ 19	+0,029	+5,53	+ 19	15
16	+0,246	+2,64	−11,1	−0,591	+5,04	+ 17	+0,089	+5,75	+ 18	16
17	+0,273	+2,47	−12,2	−0,532	+5,27	+ 15	+0,153	+5,95	+ 20	17
18	+0,298	+2,32	−13,5	−0,484	+5,48	+ 13	+0,222	+6,13	+ 23	18
19	+0,319	+2,15	−15,4	−0,432	+5,65	+ 11	+0,284	+6,35	+ 26	19
20	+0,343	+1,98	−17,5	−0,369	+5,82	+ 10	+0,351	+6,55	+ 21	20
21	+0,362	+1,79	−20,1	−0,308	+5,96	+ 12	+0,428	+6,70	+ 13	21
22	+0,377	+1,53	−22,5	−0,251	+6,10	+ 16	+0,499	+6,82	+ 9	22
23	+0,393	+1,30	−25	−0,182	+6,29	+ 20	+0,558	+6,92	+ 7	23
24	+0,404	+1,08	−28	−0,114	+6,50	+ 24	+0,630	+6,96	+ 5	24
25	+0,413	+0,78	−32	−0,052	+6,78	+ 30	+0,700	+7,00	+ 2	25
26	+0,422	+0,42	−36	+0,009	+6,99	+ 20	+0,772	+7,01	0	26
27	+0,424	0	−40	+0,081	+7,07	+ 8	+0,831	+6,98	− 8	27
28	+0,422	−0,41	−41,6	+0,148	+7,12	0	+0,897	+6,87	− 18	28
29	+0,417	−0,78	−38,5	+0,212	+6,97	− 18	+0,967	+6,65	− 28	29
30	+0,408	−1,15	−18	+0,280	+6,67	− 30	+1,031	+6,30	− 36	30
31	+0,397	−1,20	0	+0,341	+6,32	− 41	+1,093	+5,85	− 41	31
32	+0,386	−1,12	+18	+0,402	+5,88	− 53	+1,141	+5,35	− 49	32
33	+0,377	−0,77	+34	+0,459	+4,95	− 90	+1,199	+4,70	− 75	33
34	+0,372	0	+60	+0,498	+3,40	−160	+1,249	+3,50	−160	34
35	+0,374	+0,50	+74,5	+0,512	+1,35	−180	+1,274	+1,30	−320	35
36	+0,383	+1,08	+75,3	+0,517	0	−187	+1,283	0	−135	36
37	+0,394	+1,80	+60	+0,502	−1,80	−205	+1,275	−1,50	−106	37
38	+0,412	+1,99	0	+0,479	−4,80	−550	+1,246	−2,40	− 81	38
39	+0,430	+1,84	−45	+0,425	−6,40	0	+1,219	−3,25	− 62	39
40	+0,444	+1,30	−70	+0,381	−4,10	+290	+1,182	−3,94	− 53	40
40,9	+0,450	+0,70	−79	+0,357	−1,80	+400	+1,146	−4,40	− 48	40,9

Digitized by Google

Tabelle 10.

Drehung der Abschnitte des rechten Beins während der Periode des Schwingens beim III. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	rechter Oberschenkel: Winkel φ_2 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_2'	Winkelbeschleunigung φ_2''	rechter Unterschenkel: Winkel φ_4 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_4'	Winkelbeschleunigung φ_4''	rechter Fuß: Winkel φ_6 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_6'	Winkelbeschleunigung φ_6''	Zeit in 1/100 Sekunden
0	−0,353	+3,10	+33	−0,670	*−3,98*	+0	−0,200	−5,10	+ 74	0
1	−0,324	+3,45	+27	−0,709	−3,70	+ 21	−0,247	−4,30	+ 86	1
2	−0,293	+3,75	+18	−0,753	−3,25	+ 41	−0,292	−3,60	*+133*	2
3	−0,255	+3,92	+10	−0,788	−2,70	+ 55	−0,319	−2,30	+102	3
4	−0,217	*+3,94*	0	−0,815	−2,00	+ 64	−0,337	−1,40	+ 85	4
5	−0,179	+3,85	−21	−0,827	−2,15	+ 72	−0,343	−0,60	+ *81*	5
6	−0,142	+3,61	*−24*	−0,832	−2,40	+ 83	*−0,344*	0	+ 98	6
7	−0,110	+3,42	−18	*−0,833*	0	*+103*	−0,332	+1,40	*+136*	7
8	−0,073	+3,30	−14,5	−0,824	+1,30	+ 65	−0,308	+2,60	+ 82	8
9	−0,042	+3,18	−12,2	−0,809	+1,90	+ 55	−0,287	+3,35	+ 58	9
10	−0,011	+3,03	−10,4	−0,788	+2,35	+ 49	−0,228	+3,85	+ 47	10
11	+0,017	+2,94	− 9 1	−0,759	+2,90	+ 43	−0,193	+4,27	+ 39	11
12	+0,048	+2,86	− 8,7	−0,733	+3,35	+ 39	−0,148	+4,58	+ 31	12
13	+0,077	+2,77	− 8,2	−0,694	+3,75	+ 36	−0,100	+4,89	+ 25	13
14	+0,106	+2,70	*− 8,1*	−0,658	+4,10	+ 33	−0,048	+5,14	+ 20	14
15	+0,132	+2,58	− 8,8	−0,612	+4,45	+ 30	+0,012	+5,30	+ 16	15
16	+0,160	+2,48	− 9,5	−0,563	+4,78	+ 28	+0,071	+5,44	+ 13	16
17	+0,184	+2,35	−10,5	−0,521	+5,09	+ 27	+0,129	+5,58	+ 12	17
18	+0,209	+2,21	−11,7	−0,470	+5,38	+ 25	+0,185	+5,72	+ *11*	18
19	+0,233	+2,05	−13,2	−0,403	+5,63	+ 22	+0,248	+5,87	+ 15	19
20	+0,253	+1,95	−14,8	−0,352	+5,89	+ 20	+0,299	+5,99	+ 19	20
21	+0,262	+1,80	−17	−0,301	+6,10	+ *19*	+0,342	+6,19	+ 22	21
22	+0,288	+1,63	−19	−0,239	+6,34	+ 22	+0,417	+6,43	+ *24*	22
23	+0,303	+1,43	*−22*	−0,158	+6,60	+ 24	+0,483	+6,68	+ 23	23
24	+0,318	+1,21	−25	−0,093	+6,88	+ 29	+0,556	+6,89	+ 21	24
25	+0,326	+0,95	−30	−0,023	+7,17	+ 32	+0,628	+7,12	+ 19	25
26	+0,334	+0,69	−35	+0,039	+7,46	+ 37	+0,689	+7,27	+ 13	26
27	+0,338	+0,35	−44	+0,104	+7,80	+ *38*	+0,745	+7,38	+ 7	27
28	*+0,340*	0	*−62*	+0,187	+7,99	+ 14	+0,810	*+7,42*	0	28
29	+0,336	−0,65	−50	+0,255	*+8,02*	0	+0,896	+7,37	− 17	29
30	+0,328	−0,98	−25	+0,348	+7,70	− 67	+0,958	+7,02	− 48	30
31	+0,319	*−1,02*	0	+0,408	+6,70	− 98	+1,032	+6,35	− 73	31
32	+0,310	−0,97	+25	+0,469	+5,70	−117	+1,089	+5,40	− 85	32
33	+0,302	−0,75	+45	+0,518	+4,60	−131	+1,139	+4,65	− 98	33
34	*+0,300*	0	+57,5	+0,549	+3,10	−142	+1,184	+3,70	−120	34
35	+0,304	+0,50	*+60*	+0,570	+1,80	−151	+1,213	+2,00	*−350*	35
36	+0,312	+1,10	+58	*+0,577*	0	−162	*+1,216*	0	−130	36
37	+0,326	+1,55	+47	+0,571	−1,30	−177	+1,205	−1,70	− 99	37
38	+0,343	*+1,73*	0	+0,542	−3,00	−205	+1,184	−2,40	− 82	38
39	+0,364	+1,70	−20	+0,500	−5,00	*−600*	+1,152	−3,00	− 69	39
40	+0,379	+1,50	−45	+0,452	*−6,20*	0	+1,123	−3,70	− 62	40
41	+0,388	+1,00	−68	+0,424	−3,00	+300	+1,083	−4,25	− 56	41
41,45	+0,390	+0,70	−74	+0,418	−2,10	+350	+1,070	−4,50	− 55	41,45

Tabelle 11.

Drehung der Abschnitte des linken Beins während der Periode des Schwingens beim III. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	linker Oberschenkel: Winkel φ_3 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_3'	Winkelbeschleunigung φ_3''	linker Unterschenkel: Winkel φ_5 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_5'	Winkelbeschleunigung φ_5''	linker Fuß: Winkel φ_7 Bogen	Winkelgeschwindigkeit φ_7'	Winkelbeschleunigung φ_7''	Zeit in 1/100 Sekunden
0	−0,251	+3,10	+47	−0,840	−4,50	+ 5	−0,215	−4,10	+150	0
1	−0,228	+3,39	+38	−0,871	−4,20	+ 33	−0,255	−3,55	+ *80*	1
2	−0,184	+3,78	+25	−0,919	−3,60	+ 56	−0,285	−2,30	+103	2
3	−0,142	+3,95	+ 8	−0,950	−2,80	+ 71	−0,305	−1,30	+*170*	3
4	−0,106	+*3,99*	0	−0,981	−2,05	+ 82	−*0,313*	0	+ 87	4
5	−0,061	+3,84	−18	−0,995	−1,05	+ 91	−0,310	+0,60	+ 70	5
6	−0,028	+3,67	−*20*	−*0,997*	0	+105	−0,302	+1,15	+ 65	6
7	+0,009	+3,45	−18	−0,992	+0,80	+*137*	−0,283	+1,80	+ 61	7
8	+0,040	+3,28	−15	−0,979	+1,70	+ 72	−0,262	+2,50	+ 57	8
9	+0,070	+3,17	−12,5	−0,960	+2,35	+ 56	−0,236	+2,95	+ 53	9
10	+0,103	+3,07	−10,9	−0,933	+2,88	+ 47	−0,201	+3,50	+ 50	10
11	+0,136	+2,98	− 9,9	−0,907	+3,25	+ 40	−0,165	+4,00	+ 46	11
12	+0,168	+2,87	− *9,2*	−0,869	+3,63	+ 37	−0,121	+4,50	+ 42	12
13	+0,194	+2,77	− 9,5	−0,833	+4,00	+ 33	−0,067	+4,90	+ 37	13
14	+0,220	+2,68	− 9,9	−0,790	+4,35	+ 31	−0,008	+5,25	+ 32	14
15	+0,245	+2,57	−10,5	−0,748	+4,66	+ 29	+0,027	+5,50	+ 26	15
16	+0,276	+2,46	−11,5	−0,707	+4,94	+ 25	+0,098	+5,78	+ 21	16
17	+0,302	+2,32	−12,6	−0,658	+5,13	+ 23	+0,160	+5,99	+ 18	17
18	+0,322	+2,18	−14	−0,599	+5,36	+ 21	+0,216	+6,13	+ *15*	18
19	+0,345	+2,00	−16	−0,543	+5,60	+ 20	+0,295	+6,29	+ 16	19
20	+0,364	+1,86	−18	−0,481	+5,80	+ 19	+0,351	+6,46	+ 17	20
21	+0,380	+1,68	−19,5	−0,427	+5,96	+ *18*	+0,419	+6,64	+ 19	21
22	+0,393	+1,49	−21,5	−0,353	+6,19	+ 22	+0,478	+6,83	+ 24	22
23	+0,403	+1,25	−24	−0,288	+6,43	+ 25	+0,540	+7,04	+ *27*	23
24	+0,413	+0,99	−26	−0,225	+6,69	+ 33	+0,603	+7,27	+ 22	24
25	+0,420	+0,75	−29	−0,161	+7,05	+ *40*	+0,678	+7,46	+ 24	25
26	+0,424	+0,38	−32,5	−0,093	+7,33	+ 28	+0,740	+*7,59*	0	26
27	+*0,427*	0	−35	−0,027	+7,41	+ 11	+0,818	+7,57	− 9	27
28	+0,426	−0,17	−37,5	+0,038	+*7,43*	0	+0,905	+7,40	− 29	28
29	+0,424	−0,52	−*38,2*	+0,124	+7,35	− 16	+0,984	+7,05	− 65	29
30	+0,419	−0,85	−34	+0,177	+7,17	− 23	+1,042	+6,25	− 72	30
31	+0,409	−1,10	−25	+0,250	+6,80	− 38	+1,095	+5,70	− 75	31
32	+0,398	−1,25	−15	+0,328	+6,30	− 51	+1,149	+5,00	− 77	32
33	+0,386	−*1,30*	0	+0,380	+5,75	− 58	+1,200	+4,25	− 81	33
34	+0,374	−1,13	+25	+0,429	+5,10	− 75	+1,238	+3,50	− 86	34
35	+0,365	−0,80	+57	+0,477	+3,50	−150	+1,282	+2,80	−105	35
36	+*0,360*	0	+*65,5*	+0,506	+1,30	−173	+1,304	+1,75	−135	36
37	+0,362	+0,30	+64,5	+*0,511*	0	−192	+*1,306*	0	−*450*	37
38	+0,367	+0,80	+35	+0,495	−2,50	−*600*	+1,297	−1,80	−100	38
39	+0,376	+*0,93*	0	+0,438	−*6,70*	0	+1,284	−2,70	− 62	39
40	+0,385	+0,84	−45	+0,391	−4,00	+*400*	+1,243	−3,30	− 54	40
41	+0,390	+0,45	−70	+0,368	−2,20	+270	+1,208	−3,80	− 49	41
41,3	+0,391	+0,39	−75	+0,366	−1,50	+230	+1,205	−4,10	− 48	41,3

Digitized by Google

Durch diese Tabellen wird nun eine eingehende Kenntnis der Drehungen der drei Abschnitte des Beins während der Periode des Schwingens vermittelt. Um einen Gesamtüberblick über die successiven um je 0,01 sec zeitlich von einander abstehenden Bewegungsphasen des schwingenden Beins gewinnen und die in den Tabellen niedergelegten Resultate richtig auf den ganzen Schwingungsvorgang beziehen zu können, sind in der folgenden Figur 8 diese 42 Stellungen des Beins aufgezeichnet. Das Bild ist unter Zugrundelegung der chronophotographischen Aufnahme der Schwingung des linken Beins beim II. Versuch durch graphische

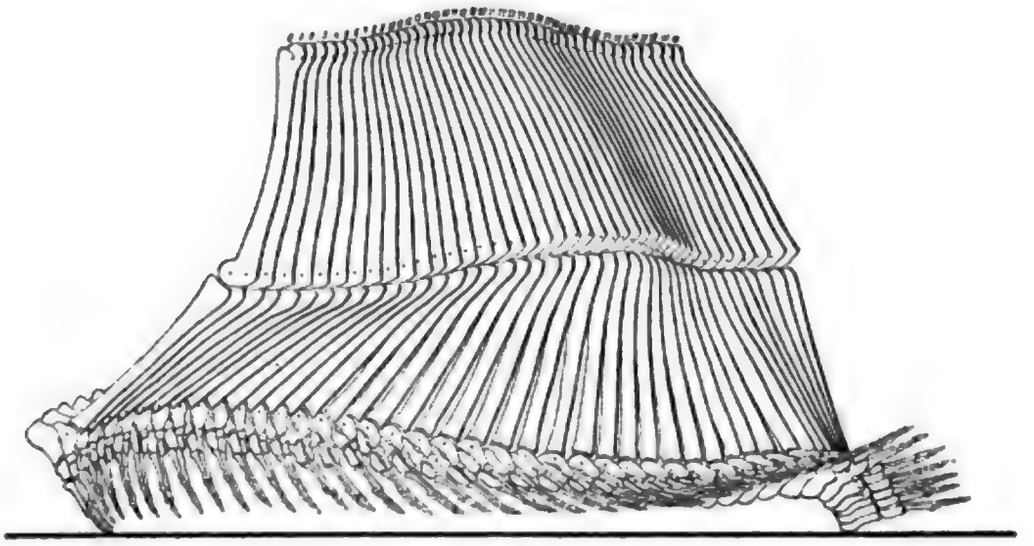


Fig. 8.
Successive Stellungen des Beins während der Periode des Schwingens in zeitlichen Intervallen von $^1/_{100}$ Sekunde.

Interpolation der Bahnkurven der Mittelpunkte vom Hüft-, Knie- und Fußgelenk und der Fußspitze konstruiert worden. Der II. Versuch wurde deshalb verwertet, weil bei demselben die Schwingungsdauer des linken Beins dem Durchschnittswert von 0,41 sec am nächsten gekommen war, sodaß das Aufsetzen des Beins genügend genau mit der letzten der 42 um je 0,01 sec zeitlich von einander entfernten Bewegungsphasen zusammenfiel. Das Bild kann aber auch ebenso gut zum Studium der aus den anderen Versuchen gewonnenen Resultate verwendet werden, weil die hierbei vorhandenen Abweichungen in den successiven Bewegungsphasen von denen der Figur 8 zu gering sind, als daß sie bei einer derartigen Figur zu erkennen wären. Das Bild ist daher auch nicht für das linke, sondern für das rechte Bein aus-

Digitized by Google

geführt worden und kann als Schema für die Schwingungsbewegung des Beins überhaupt gelten. Die über den Hüftgelenkköpfen angebrachten Nummern geben den zeitlichen Abstand der einzelnen Phasen von der ersten in Hundertstel Sekunden an. Auf eine eingehende Beschreibung der Aufeinanderfolge der einzelnen Stellungen des Beins kann hier verzichtet werden, da dieselbe schon im III. Teil (S. 120ff.) in groben Zügen gegeben worden ist und außerdem eine eingehende Betrachtung der Figur 8 schneller über dieselbe orientiert, als es eine ausführliche Beschreibung zu tun vermag.

Nicht ganz so unmittelbar gewinnt man aus den Tafeln I, II und III und den entsprechenden Tabellen 6—11 einen genauen Einblick in die Änderungen der Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen bei der Drehung der drei Abschnitte des Beins. Es soll daher an dieser Stelle noch etwas ausführlicher darauf eingegangen werden.

Zunächst erkennt man in jeder der drei Tafeln die große Übereinstimmung in den 6 nebeneinanderstehenden Bildern. Die vorhandenen Unterschiede sind nur quantitative, indem sie sich nur auf die erreichten Maximal- und Minimalwerte beziehen; die Folge und Art der Änderungen sind aber sowohl bei den Winkelgeschwindigkeiten als auch bei den Winkelbeschleunigungen desselben Körperteils bis auf geringe Unregelmäßigkeiten in den naturgemäß etwas weniger sicheren Beschleunigungskurven durchaus die gleichen.

Was zunächst die Drehung des *Oberschenkels* anlangt, so erkennt man aus Tafel I, daß derselbe zu Anfang der Schwingung, wo er nach hinten gegen die Vertikale geneigt ist, schon eine beträchtliche Winkelgeschwindigkeit im Sinne einer Drehung umgekehrt wie der Uhrzeiger (von der rechten Seite aus gesehen) besitzt. Er hat diese Winkelgeschwindigkeit nicht momentan zu Beginn des Schwingens erhalten, sondern er bringt sie aus dem Endstadium des Aufstehens des Beins mit herüber in die Periode des Schwingens. Diese anfängliche Winkelgeschwindigkeit wird nun zuerst noch vermehrt, bis sie bei allen Versuchen und auch bei beiden Extremitäten in der vierten Phase, d. h. also 0,04 sec nach dem Beginn des Schwingens ihr Maximum erreicht. Dementsprechend ist genau bis zu diesem Zeitpunkt eine positive Winkelbeschleunigung vorhanden.

Digitized by Google

Von der 4ten Phase an nimmt die Winkelgeschwindigkeit zunächst schnell, darauf etwas langsamer, dann wieder schneller ab, durchläuft nach ungefähr dreiviertel der Schwingungsdauer (etwa in der 28ten Phase) den Wert Null, und wird dann sogar negativ, bis sie ungefähr in der 32ten Phase, also 0,32 sec nach Beginn der Schwingung, ein Minimum erreicht und etwa in der 34ten Phase wieder zu Null geworden ist. Den negativen Werten der Winkelgeschwindigkeit entspricht natürlich eine Drehung des Oberschenkels in der Richtung des Uhrzeigers von rechts gesehen; dieselbe dauert aber nach den obigen Angaben nur ca. 0,06 sec. Wenn die positive Winkelgeschwindigkeit abnimmt, so ist die Winkelbeschleunigung negativ, d. h. es handelt sich dann um Winkelverzögerung. In der Tat läßt sich aus den Tafeln und Tabellen erkennen, daß die Winkelbeschleunigung des Oberschenkels von der 4ten Phase an, wo sie den Wert Null besitzt, in Winkelverzögerung übergeht. Dies gilt jedoch nicht mehr, nachdem die Winkelgeschwindigkeit den Wert Null passiert hat und negativ geworden ist; dann bedeutet eine negative Winkelbeschleunigung nicht mehr Verzögerung, sondern Beschleunigung der im negativen Drehungssinne, d. h. im Sinne des Uhrzeigers verlaufenden Drehung. Die Verzögerung der im positiven Sinne verlaufenden Drehung nimmt zunächst sehr schnell zu, erreicht fast bei allen Versuchen in der 6ten Phase ein erstes Maximum, nimmt darauf wieder ab, durchläuft ca. in der 14ten Phase ein Minimum, nimmt dann wieder zu, bis sie in der 29ten Phase ein höheres Maximum erreicht. In den Werten dieses Maximums stellen sich bei den verschiedenen Versuchen und vor allen Dingen bei den verschiedenen Körperseiten bemerkbare Unterschiede ein. Bei der rechten Extremität schwankt dasselbe zwischen den Werten 53 und 65, bei der linken zwischen den Werten 35,2 und 41,6. Genauer stimmten die Werte des vorhergehenden Minimums mit einander überein; dieselben bewegten sich bei allen 6 Versuchen zwischen den Grenzen 7,8 und 9,8. Beim ersten kleineren Maximum hatte sich dagegen auch herausgestellt, daß die Werte für das rechte Bein größer waren als die für das linke; die ersteren lagen zwischen 23 und 25, die letzteren zwischen 17 und 20. Ziemlich genau im Moment des zweiten Maximums der Winkelverzögerung durchläuft die Winkelgeschwindigkeit den Wert Null und wird negativ, sodaß die Drehung jetzt im Sinne des Uhrzeigers stattfindet. Der

noch immer negative Wert der Winkelbeschleunigung bedeutet jetzt nicht mehr Verzögerung, sondern Beschleunigung der im Sinne des Uhrzeigers stattfindenden Drehung des Oberschenkels. Diese Winkelbeschleunigung nimmt jedoch rasch ab und erreicht den Wert Null in demselben Moment, in welchem die Winkelgeschwindigkeit ihr oben beschriebenes Minimum erhält.

Von nun an nimmt die Winkelgeschwindigkeit wieder zu, d. h. die zunächst noch negative Winkelgeschwindigkeit nimmt an absolutem Wert ab, bis sie abermals durch Null hindurchgeht und einem nur 0,04 sec vor dem Ende der Schwingung gelegenen Maximum zustrebt. Während beim ersten Maximum der Winkelgeschwindigkeit sich fast übereinstimmend bei allen Versuchen der Wert 4,0 ergeben hatte, schwanken die Werte dieses zweiten Maximums beträchtlich; beim rechten Bein liegen sie zwischen 1,45 und 1,97; beim linken Bein sind zwar die zu den beiden ersten Versuchen gehörenden Werte nahezu vollkommen gleich (der eine ist 1,95, der andere 1,99), aber beim III. Versuch ergibt sich der merklich hiervon abweichende Wert 0,93, was jedenfalls auf den Einfluß des schweren Gepäcks zurückzuführen ist. Nach dem zweiten Maximum nimmt nun die Winkelgeschwindigkeit wieder ab, erreicht aber bis zum Ende der Schwingung nicht wieder den Wert Null, sondern etwa nur die Hälfte des Wertes vom letzten Maximum.

Der Änderung der Winkelgeschwindigkeit entspricht wieder das Verhalten der Winkelbeschleunigung. In dem Moment, in welchem die erstere ihr Minimum erreicht hat, erlangte die letztere den Wert Null. Die bis dahin vorhandene Winkelbeschleunigung geht nun in Winkelverzögerung der im negativen Sinne stattfindenden Drehung über; dieselbe nimmt sehr schnell zu und erreicht fast in demselben Moment ein Maximum, in welchem die Winkelgeschwindigkeit abermals Null wird, und demnach die Drehung ihren Sinn wieder umkehrt. Bei diesem Maximum der Verzögerung, welches beim linken Bein in allen Fällen eine größere Höhe erreicht als beim rechten, schwankt sein Wert rechts zwischen 39 und 60, und links zwischen 65,5 und 78. Für die weitere Drehung im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers handelt es sich nun wieder um Winkelbeschleunigung; dieselbe fällt in den noch vorhandenen 0,05 sec der Schwingungsdauer bei allen Versuchen ungeheuer rasch ab, geht nach etwa 0,03 sec durch Null hindurch

Digitized by Google

und verwandelt sich somit von neuem in Winkelverzögerung, die im Moment des Aufsetzens des Beins Werte zwischen 74 und 90 erreicht.

Über die Einzelheiten der Drehung des *Unterschenkels* gibt Tafel II im Verein mit den Tabellen 6 bis 11 Aufschluß. Man erkennt zunächst auf den ersten Blick, daß die Winkelgeschwindigkeit beim Unterschenkel bedeutend größere Werte annimmt und auch viel größere Winkelbeschleunigungen im Gefolge hat als beim Oberschenkel. Daher konnten die Winkelbeschleunigungskurven hier nur in dem kleineren Maßstabe aufgezeichnet werden, bei welchem die Einheit der Winkelbeschleunigung durch die Länge von 0,1 mm dargestellt ist, sodaß einer Ordinatenlänge von 1 mm bereits eine Winkelbeschleunigung von der Größe 10 entspricht.

Während der Oberschenkel zu Beginn der Schwingung des Beins in positiver Drehung begriffen ist, besitzt der Unterschenkel gleich zu Anfang eine negative Drehung d. h. eine solche im Sinne des Uhrzeigers von der rechten Seite aus gesehen; dem entsprechend ist seine Winkelgeschwindigkeit zunächst negativ. Diese Winkelgeschwindigkeit hat der Unterschenkel nicht erst im Moment des Ablösens der Fußspitze vom Boden erhalten, sondern auch er bringt sie aus dem letzten Stadium des Aufstehens mit in die Periode des Schwingens herüber. Diese negative Winkelgeschwindigkeit nimmt aber immer kleinere und kleinere absolute Werte an, bis sie in der 6ten Phase, also 0,06 sec nach dem Beginn der Schwingung zu Null geworden ist. Von da an wird die Winkelgeschwindigkeit positiv und behält dieses Vorzeichen auch während des größten Teils der Periode des Schwingens bei; nur während der letzten 0,05 sec wird sie wieder negativ. Etwa in der 28ten Phase, also 0,28 sec nach dem Anfang des Schwingens, erreicht die positive Winkelgeschwindigkeit ein Maximum, welches bei der linken Extremität etwas niedriger ist als bei der rechten; bei dieser liegen die Werte zwischen 8,02 und 8,38, bei jener zwischen 7,07 und 7,43. Von diesem Maximum an fällt die Winkelgeschwindigkeit in allen Fällen sehr steil ab, wird negativ und erreicht kurz vor dem Aufsetzen des Beins, weniger als 0,02 sec zeitlich davon entfernt, ein Minimum, das beim rechten Bein zwischen — 6,20 und — 7,00 und beim linken Bein zwischen — 6,00 und — 6,70 schwankt. Darauf nimmt die Winkelgeschwindigkeit wieder zu, d. h. es vermindert sich ihr absoluter Wert; sie

Digitized by Google

hat jedoch im Moment des Aufsetzens noch nicht die Null wieder erreicht, sondern besitzt noch einen merklichen negativen Wert.

Die Winkelbeschleunigung ist zu Anfang der Schwingungsperiode infolge der sich vermindernden negativen Winkelgeschwindigkeit positiv, man hat es also zunächst mit Winkelverzögerung der im negativen Sinne stattfindenden Drehung zu tun; erst nachdem die Drehung positiv geworden ist, tritt Beschleunigung der Drehung ein, die bis zur 28ten Phase vorhanden ist. Von da an nimmt die Winkelbeschleunigung negative Werte an, wird also zur Winkelverzögerung, bis sie kurz vor dem Aufsetzen des Beins wieder in Winkelbeschleunigung übergeht. Während der ersten 0,28 sec der Schwingungsdauer erreicht die Winkelbeschleunigung zweimal ein Maximum, ein größeres, ungefähr 0,06 sec, und ein kleineres, ungefähr 0,26 sec nach dem Anfang der Schwingung. Das größere erreicht Werte über 100, beim ersten Versuch und der rechten Extremität sogar bis nahezu 200, das kleinere dagegen hält sich fast in allen Fällen unter 50. Zwischen beiden, etwa in der 20ten Phase, liegt ein Minimum, dessen Wert bei den verschiedenen Versuchen zwischen 10 und 19 schwankt. Nach der 28ten Phase wird die Winkelbeschleunigung negativ; der absolute Wert derselben nimmt zunächst schnell, darauf bedeutend langsamer und zuletzt wieder sehr schnell zu; er erreicht nicht ganz 0,03 sec vor dem Aufsetzen des Beins ein Maximum, dessen Wert zwischen -450 und -600 schwankt. Da nach der 28ten Phase die Winkelgeschwindigkeit zunächst noch positiv ist, so bedeutet das negative Vorzeichen der Winkelbeschleunigung zuerst eine Verzögerung der im positiven Sinne verlaufenden Drehung. Kurz vor dem Moment, in welchem der absolute Wert der negativen Winkelbeschleunigung das Maximum erreicht, ändert sich aber der Drehungssinn; deshalb hat man es zuletzt mit Beschleunigung der negativen Drehung zu tun. Darauf verschwindet die Winkelbeschleunigung fast plötzlich und erhält wieder positive Werte, sodaß zu Ende der Schwingung die immer noch im negativen Sinne, d. h. in der Richtung des Uhrzeigers verlaufende Drehung sehr stark verzögert worden ist.

Was endlich die Drehung des *Fußes* anlangt, so läßt sich aus Tafel III und den Tabellen 6 bis 11 folgendes ableiten.

Die Winkelgeschwindigkeit zeigt ein ganz ähnliches Verhalten wie beim Unterschenkel; der einzige Unterschied in der Art der

Digitized by Google

Änderung derselben besteht darin, daß zuletzt kein Minimum vorhanden ist. Im übrigen beginnt die Winkelgeschwindigkeit auch hier mit negativen Werten, die der Fuß aus der Periode des Abwickelns vom Fußboden mit in die Periode des Schwingens herübergenommen hat; sie erreicht schon in der 5ten Phase den Wert Null und wird darauf positiv; sie behält bis zur 36ten Phase positive Werte bei, und erhält von da an bis zum Ende der Schwingung negative Werte, sodaß der Fuß mit verhältnismäßig großer Winkelgeschwindigkeit (— 4 bis — 4,7) im Sinne der Uhrzeigerdrehung auf den Boden aufgesetzt wird. Während die Winkelgeschwindigkeit positiv ist, erreicht sie ungefähr 0,27 sec nach dem Beginn der Schwingung ein Maximum, dessen Wert in den 6 verschiedenen Fällen zwischen 6,88 und 7,59 schwankt.

Auch die Winkelbeschleunigung zeigt im wesentlichen beim Fuß das gleiche Verhalten wie beim Unterschenkel, sie ist in einem ersten, größeren Teile der Periode des Schwingens positiv und nimmt dann negative Werte an, welche hier bis zum Ende der Schwingung andauern und nicht, wie beim Unterschenkel, zuletzt noch einmal durch positive Werte abgelöst werden. Da im letzten Stadium des Schwingens auch die Winkelgeschwindigkeit negativ ist, so bedeutet das negative Vorzeichen der Winkelbeschleunigung, daß die Drehung des Fußes im Sinne des Uhrzeigers zuletzt beschleunigt ist.

Damit ist in groben Zügen ein Überblick über die Drehungen der Längsachsen der drei Abschnitte des Beins während der Periode des Schwingens gegeben. Noch mehr Einzelheiten erfährt man beim eingehenden Studium der Diagramme der drei ersten Tafeln.

Digitized by Google

IV. Die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Schwerpunkte der drei Abschnitte des Beins während der Periode des Schwingens.

Für die Ableitung der Schwerpunkts-Geschwindigkeiten und Beschleunigungen ist wieder das Verfahren eingeschlagen worden, welches im III. Abschnitt des II. Teiles auf Seite 85 ff. bei der kinematischen Analyse der Bewegung des Gesamtschwerpunktes ausführlich auseinandergesetzt worden ist. Es wurden die den Bewegungen in der Gangrichtung und in der vertikalen Richtung entsprechenden Wegkurven aller drei Schwerpunkte für die Periode des Schwingens konstruiert und aus diesen dann zunächst die Geschwindigkeiten und aus letzteren wiederum die Beschleunigungen mit Hilfe der Tangentenmethode konstruktiv abgeleitet. Dabei wurden wie früher mit Hilfe der Tabelle 6 auf Seite 70 des II. Teils die Koordinaten in der Gangrichtung auf eine mit der mittleren Ganggeschwindigkeit in der Gangrichtung gleichmäßig fortschreitende Frontalebene bezogen, um die Wegkurven bequemer zeichnen und die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen leichter ableiten zu können. Die auf diese Weise erlangten relativen Geschwindigkeiten der drei Schwerpunkte unterscheiden sich infolgedessen wiederum nur um die mittlere Ganggeschwindigkeit bei jedem der drei Versuche von den absoluten Geschwindigkeiten, während die gefundenen Beschleunigungen direkt für die Bewegung im ruhenden Raume Gültigkeit besitzen.

In den folgenden Tabellen 12, 13 und 14 sind nun die relativen Koordinaten der Schwerpunkte des Oberschenkels und Unterschenkels für die Gangrichtung in derselben Anordnung aufgezeichnet worden, wie es in den Tabellen 3, 4 und 5 für die Werte der Winkel φ geschehen ist. Die Tabellen sind daher ohne weiteres verständlich. Die relativen Koordinaten sind durch Subtraktion der in Tabelle 6 des II. Teils niedergelegten Längen von den in den Tabellen 1, 2 und 5 desselben Teils befindlichen absoluten Schwerpunktskoordinaten des Oberschenkels und Unterschenkels für die Periode des Schwingens gewonnen worden. Die relativen Koordinaten des Fußschwerpunktes brauchten in den Tabellen nicht

Digitized by Google

mit aufgenommen zu werden, da sie schon in den Tabellen 1 bis 6 auf den Seiten 522—527 des IV. Teils mitgeteilt worden sind.

Tabelle 12. **Relative Schwerpunktskoordinaten in der Gangrichtung beim I. Versuch.**

Nr.	Zeit in sec	r. Oberschenkel	r. Unterschenkel	Nr.	Zeit in sec	l. Oberschenkel	l. Unterschenkel
25	0,920	− 5,77	− 23,46	12	0,422	− 5,37	− 23,93
26	0,958	− 2,51	− 18,33	13	0,460	− 2,55	− 19,50
27	0,997	+ 0,53	− 12,58	14	0,498	+ 0,07	− 14,13
28	1,035	+ 3,16	− 6,38	15	0,537	+ 2,42	− 7,72
29	1,073	+ 4,80	− 1,05	16	0,575	+ 3,76	− 2,92
30	1,112	+ 6,08	+ 4,85	17	0,613	+ 5,24	+ 3,77
31	1,150	+ 6,30	+ 9,68	18	0,652	+ 5,84	+ 9,12
				19	0,690	+ 6,09	+ 14,37
1	0,990	− 0,35	− 13,61	20	0,728	+ 5,64	+ 18,35
2	1,028	+ 2,31	− 7,29	21	0,767	+ 5,07	+ 20,64
3	1,067	+ 4,50	− 0,82	22	0,805	+ 5,61	+ 21,77
4	1,105	+ 6,03	+ 5,30	23	0,843	+ 7,10	+ 22,15
5	1,143	+ 6,94	+ 11,14				
6	1,182	+ 7,22	+ 16,32				
7	1,220	+ 6,74	+ 20,13				
8	1,258	+ 6,65	+ 23,22				
9	1,297	+ 7,35	+ 24,74				
10	1,335	+ 8,63	+ 25,07				

Tabelle 13. **Relative Schwerpunktskoordinaten in der Gangrichtung beim II. Versuch.**

Nr.	Zeit in sec	r. Oberschenkel	r. Unterschenkel	Nr.	Zeit in sec	l. Oberschenkel	l. Unterschenkel
26	0,958	− 4,84	− 21,77	13	0,460	− 5,72	− 23,71
27	0,997	− 1,58	− 16,58	14	0,498	− 3,25	− 20,02
28	1,035	+ 1,33	− 10,56	15	0,537	− 0,21	− 14,11
29	1,073	+ 3,59	− 4,81	16	0,575	+ 1,88	− 8,34
30	1,112	+ 5,28	+ 0,65	17	0,613	+ 3,56	− 2,57
31	1,150	+ 6,71	+ 6,66	18	0,652	+ 5,07	+ 3,43
				19	0,690	+ 6,19	+ 9,49
1	0,970	− 4,52	− 21,13	20	0,728	+ 6,66	+ 14,99
2	1,008	− 0,95	− 16,17	21	0,767	+ 5,93	+ 18,38
2	1,047	+ 1,87	− 10,21	22	0,805	+ 4,97	+ 20,24
4	1,085	+ 3,92	− 3,79	23	0,843	+ 5,94	+ 22,02
5	1,123	+ 5,22	+ 1,83	24	0,882	+ 7,30	+ 22,31
6	1,162	+ 6,15	+ 7,69				
7	1,200	+ 6,70	+ 13,40				
8	1,238	+ 6,13	+ 17,06				
9	1,277	+ 5,73	+ 20,80				
10	1,315	+ 5,72	+ 22,61				
11	1,353	+ 7,57	+ 24,17				
12	1,392	+ 8,88	+ 24,11				

Digitized by Google

Tabelle 14. **Relative Schwerpunktskoordinaten in der Gangrichtung beim III. Versuch.**

Nr.	Zeit in sec	r. Oberschenkel	r. Unterschenkel	Nr.	Zeit in sec	l. Oberschenkel	l. Unterschenkel
23	0,843	− 7,37	− 25,20	11	0,383	− 4,08	− 21,61
24	0,882	− 4,96	− 22,57	12	0,422	− 1,05	− 16,69
25	0,920	− 2,36	− 18,19	13	0,460	+ 1,84	− 10,73
26	0,958	+ 0,17	− 12,65	14	0,498	+ 3,78	− 5,07
27	0,997	+ 1,86	− 7,40	15	0,537	+ 5,43	+ 0,76
28	1,035	+ 2,98	− 2,39	16	0,575	+ 6,43	+ 6,18
29	1,073	+ 3,91	+ 2,96	17	0,613	+ 6,98	+ 11,34
30	1,112	+ 4,31	+ 8,11	18	0,652	+ 6,67	+ 15,45
31	1,150	+ 4,18	+ 12,80	19	0,690	+ 5,94	+ 18,62
				20	0,728	+ 5,23	+ 19,97
1	0,989$_5$	− 0,38	− 10,81	21	0,767	+ 5,78	+ 20,65
2	1,027$_5$	+ 1,11	− 4,82	22	0,805	+ 6,86	+ 20,65
3	1,066$_5$	+ 2,28	+ 1,24				
4	1,104$_5$	+ 2,97	+ 6,82				
5	1,142$_5$	+ 2,91	+ 11,56				
6	1,181$_5$	+ 2,54	+ 15,23				
7	1,219$_5$	+ 2,14	+ 17,35				
8	1,257$_5$	+ 3,04	+ 18,79				
9	1,296$_5$	+ 4,62	+ 19,44				

Die entsprechenden Wegkurven der relativen Bewegung in der Gangrichtung finden sich für die Abschnitte beider Beine und für alle drei Versuche auf Tafel IV in der Weise aufgezeichnet, daß jedem Millimeter der Abszissen die Zeit von 0,01 sec, und jedem Millimeter der Ordinaten die Koordinatenlänge von 1 cm entspricht. Die Ordinaten erscheinen daher sämtlich auf $\frac{1}{10}$ ihrer natürlichen Größe verkleinert. Dies war notwendig, damit die Wegkurven für die relative Bewegung in der Gangrichtung überhaupt auf einer Tafel untergebracht werden konnten. Die Wegkurven für die Bewegung in der vertikalen Richtung, welche sich auf Tafel V aufgezeichnet finden, konnten infolge der kleineren Werte der vertikalen Koordinaten in natürlicher Größe wiedergegeben werden.

Auf beiden Tafeln sind nun wieder die entsprechenden Geschwindigkeitskurven und Beschleunigungskurven in einigem Abstande unterhalb der Wegkurven eingezeichnet worden, sodaß man die ganze Kinematik der Schwerpunkte der drei Beinabschnitte für die Periode des Schwingens in den beiden Tafeln IV und V anschaulich vor Augen hat. Bei den Geschwindigkeitskurven entspricht die Ordinatenlänge von 1 mm der Geschwindigkeit von

Digitized by Google

10 cm sec^{-1}, bei den Beschleunigungskurven dagegen repräsentiert die Länge von 1 mm die Beschleunigung von 100 cm sec^{-2}. Nur auf Tafel V finden sich die Geschwindigkeitskurven für den Schwerpunkt des Unterschenkels, welche verhältnismäßig geringe Ordinatenlängen besitzen, noch einmal punktiert mit 10facher Vergrößerung der Ordinaten vor, sodaß bei diesen Diagrammen die Ordinatenlänge von 1 mm der Geschwindigkeit von 1 cm sec^{-1} entspricht. Im übrigen ist die Anordnung der Diagramme auf diesen beiden Tafeln genau die gleiche wie in den Tafeln I, II und III, sodaß weitere Auseinandersetzungen überflüssig sind.

Aus diesen Tafeln sind nun wiederum die Werte der Koordinaten, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für alle um je 0,01 sec zeitlich von einander entfernten Bewegungsphasen gemessen und in den folgenden Tabellen 15 bis 32 niedergelegt worden. Da die absoluten Werte der Koordinaten in der Gangrichtung für die weitere Untersuchung zunächst nicht gebraucht werden, so sind sie nicht mit in den Tabellen aufgenommen worden, um dieselben nicht noch mehr mit Zahlenmaterial zu belasten. Aus dem letzteren Grunde finden sich auch nur die relativen Geschwindigkeiten angegeben, weil man die absoluten Geschwindigkeiten aus denselben ohne Mühe durch Hinzufügen der mittleren Ganggeschwindigkeit ableiten kann, welche für die drei Versuche bezüglich den Wert 157,32 cm sec^{-1}, 158,35 cm sec^{-1} und 145,33 cm sec^{-1} besaß. Die relativen Koordinaten in der Gangrichtung sind wie schon früher zum Unterschied von den absoluten x-Koordinaten als ξ-Koordinaten bezeichnet worden.

Digitized by Google

Tabelle 15.

Bewegung des rechten Oberschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim I. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_2 relativ	z_2	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−5,8	65,87	+78	−13	+310	0	0
1	−4,7	65,73	+81	−12	+160	+90	1
2	−3,9	65,65	+83	−11	0	+210	2
3	−3,1	65,61	+82	−7	−90	+350	3
4	−2,3	65,58	+81	0	−180	+510	4
5	−1,7	65,62	+79	+4	−230	+640	5
6	−0,8	65,68	+77	+11	−290	+790	6
7	0	65,82	+73	+19	−330	+880	7
8	+0,6	65,99	+70	+26	−370	+840	8
9	+1,3	66,30	+68	+34	−390	+650	9
10	+2,0	66,65	+64	+41	−400	+440	10
11	+2,5	67,12	+60	+43	−410	+230	11
12	+3,1	67,53	+57	+46	−420	0	12
13	+3,6	67,94	+52	+45	−430	−60	13
14	+4,0	68,39	+49	+44	−450	−140	14
15	+4,5	68,77	+45	+42	−470	−230	15
16	+4,9	69,21	+41	+39	−480	−320	16
17	+5,4	69,53	+35	+34	−500	−420	17
18	+5,8	69,85	+30	+29	−510	−520	18
19	+6,2	70,14	+26	+24	−510	−590	19
20	+6,4	70,34	+21	+18	−520	−660	20
21	+6,6	70,50	+16	+12	−510	−720	21
22	+6,8	70,62	+11	+5	−500	−780	22
23	+7,0	70,64	+8	0	−480	−820	23
24	+7,2	70,61	+3	−8	−470	−870	24
25	+7,3	70,50	0	−18	−450	−900	25
26	+7,2	70,31	−6	−26	−410	−930	26
27	+7,1	69,95	−9	−33	−340	−870	27
28	+7,0	69,54	−10	−41	−240	−710	28
29	+6,9	69,10	−10	−46	−110	−490	29
30	+6,8	68,61	−11	−48	0	−250	30
31	+6,7	68,13	−8	−49	+250	0	31
32	+6,7	67,68	−4	−47	+400	+200	32
33	+6,6	67,10	0	−43	+520	+420	33
34	+6,7	66,67	+7	−37	+580	+610	34
35	+6,8	66,36	+13	−28	+610	+740	35
36	+7,0	66,16	+18	−21	+620	+890	36
37	+7,2	65,95	+23	−13	+570	+920	37
38	+7,4	65,87	+29	0	+520	+770	38
39	+7,7	65,89	+36	+4	+450	+490	39
40	+8,0	65,96	+40	+7	+330	0	40
41	+8,3	65,99	+44	+4	+190	−630	41
41,5	+8,4	66,00	+46	0	+130	−680	41,5

Digitized by Google

Tabelle 16.

Bewegung des linken Oberschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim I. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−4,8	67,86	+70	−*13*	+ 60	0	0
1	−4,3	67,75	+*71*	− 9	0	+ 180	1
2	−3,6	67,67	+70	− 6	− 90	+ 450	2
3	−2,8	*67,63*	+69	0	− 160	+ 640	3
4	−2,3	67,68	+68	+ 6	− 190	+ 770	4
5	−1,4	67,82	+66	+14	− 230	+ *800*	5
6	−0,8	68,02	+63	+20	− 260	+ 760	6
7	−0,1	68,27	+60	+27	− 280	+ 690	7
8	+0,5	68,55	+58	+34	− 290	+ 580	8
9	+1,0	68,96	+54	+40	− 300	+ 470	9
10	+1,4	69,33	+50	+43	− 310	+ 180	10
11	+1,9	69,76	+47	+*44*	− 320	0	11
12	+2,4	70,32	+44	+43	− 340	− 120	12
13	+3,0	70,63	+41	+41	− 350	− 170	13
14	+3,3	71,02	+38	+38	− 360	− 240	14
15	+3,8	71,37	+35	+34	− 370	− 300	15
16	+4,3	71,70	+31	+29	− 380	− 370	16
17	+4,7	71,94	+29	+25	− *390*	− 420	17
18	+5,0	72,17	+24	+20	− 380	− 470	18
19	+5,3	72,24	+20	+14	− 370	− 510	19
20	+5,5	72,46	+17	+10	− 370	− 540	20
21	+5,7	72,53	+12	+ 4	− 370	− 550	21
22	+5,8	*72,57*	+10	0	− 360	− 550	22
23	+5,9	72,50	+ 6	− 7	− 350	− 570	23
24	+*6,1*	72,43	0	−11	− 330	− 590	24
25	+6,0	72,38	− 3	−17	− 310	− 610	25
26	+6,0	72,03	− 7	−22	− 290	− *620*	26
27	+6,0	71,75	−10	−28	− 280	− 570	27
28	+5,9	71,43	−12	−33	− 260	− 510	28
29	+5,7	71,02	−15	−37	− 210	− 420	29
30	+5,6	70,60	−18	−39	− 160	− 300	30
31	+5,4	70,17	−*19*	−42	0	− 170	31
32	+5,3	69,81	−17	−*43*	+ 210	0	32
33	+5,2	69,37	−10	−40	+ 600	+ 200	33
34	+*5,0*	68,99	0	−37	+ 930	+ 480	34
35	+5,1	68,65	+10	−30	+*1340*	+ 700	35
36	+5,2	68,40	+24	−22	+1270	+ 950	36
37	+5,3	68,22	+36	−14	+ 990	+*1060*	37
38	+5,8	*68,10*	+47	0	+ 550	+1000	38
39	+6,3	68,13	+*50*	+ 5	0	+ 750	39
40	+6,7	68,20	+46	+*12*	− 550	0	40
41	+7,2	68,36	+38	+10	−1000	− 670	41
41,7	+7,4	68,42	+29	+ 7	−1250	− 900	41,7

Digitized by Google

Tabelle 17.

Bewegung des rechten Oberschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim II. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in 1/100 Sekunden
	ξ_2 relativ	z_2	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−4,7	65,25	+78	− 5	+370	+ 680	0
1	−3,9	*65,24*	+80	0	+220	+ 670	1
2	−3,2	65,27	+81	+ 8	+100	+ 630	2
3	−2,5	65,36	*+82*	+ 14	0	+ 600	3
4	−1,7	65,51	+81	+ 21	−120	+ 550	4
5	−0,8	65,73	+79	+ 25	−200	+ 480	5
6	−0,2	65,99	+77	+ 31	−260	+ 420	6
7	+0,5	66,32	+73	+ 34	−300	+ 340	7
8	+1,1	66,67	+70	+ 40	−350	+ 280	8
9	+1,9	76,04	+67	+ 42	−380	+ 200	9
10	+2,3	67,59	+62	+ 43	−410	+ 100	10
11	+2,9	67,89	+59	+ *44*	−430	0	11
12	+3,5	68,25	+55	+ 43	−470	− 140	12
13	+4,1	68,64	+50	+ 41	−490	− 270	13
14	+4,5	68,93	+46	+ 39	−500	− 380	14
15	+5,0	69,35	+40	+ 35	−510	− 470	15
16	+5,3	69,69	+35	+ 32	−520	− 530	16
17	+5,6	69,96	+30	+ 28	−530	− 620	17
18	+6,0	70,19	+24	+ 22	*−540*	− 720	18
19	+6,2	70,40	+19	+ 17	−530	− 830	19
20	+6,3	70,53	+13	+ 12	−520	− 970	20
21	+6,4	70,57	+ 8	+ 6	−510	−1070	21
22	+6,6	*70,58*	+ 4	0	−490	−1190	22
23	*+6,7*	70,50	0	− 6	−470	−1300	23
24	+6,6	70,34	− 5	− 12	−430	−1480	24
25	+6,5	70,13	−10	− 20	−350	−1670	25
26	+6,4	69,91	−11	− 28	−270	−1870	26
27	+6,3	69,67	−13	− 38	−160	−2150	27
28	+6,1	69,32	−15	− 47	− 70	−2410	28
29	+6,0	68,92	*−17*	− 56	0	−2700	29
30	+5,9	68,48	−14	− 68	+220	*−2770*	30
31	+5,8	67,97	− 8	− 89	+410	−1500	31
32	+5,7	67,30	− 3	*−100*	+580	0	32
33	*+5,6*	66,40	0	− 62	+690	*+7550*	33
34	+5,7	66,10	+ 9	− 22	+780	+5000	34
35	+5,8	65,95	+19	− 6	+870	+2500	35
36	+6,0	*65,92*	+28	0	*+890*	+ 600	36
37	+6,2	65,97	+37	+ *5*	+810	0	37
38	+6,6	66,01	+46	+ 2	+590	− 410	38
39	+7,1	*66,03*	*+50*	0	0	− *450*	39
40	+7,7	65,99	+48	− 5	−350	− 180	40
40,8	+8,1	65,96	+44	− *6*	−550	0	40,8

Tabelle 18.

Bewegung des linken Oberschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim II. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−4,9	67,62	+71	−15	+ 450	+150	0
1	−4,2	67,51	+76	−11	+ 260	+400	1
2	−3,5	67,41	*+79*	− 6	0	+550	2
3	−2,7	*67,40*	+78	0	− 70	+700	3
4	−1,8	67,43	+77	+ 8	− 130	+780	4
5	−1,2	67,55	+74	+15	− 210	*+810*	5
6	−0,7	67,73	+72	+22	− 230	+760	6
7	0	68,06	+69	+29	− 280	+690	7
8	+0,7	68,38	+67	+36	− 300	+580	8
9	+1,2	68,72	+64	+41	− 320	+420	9
10	+1,8	69,20	+61	+44	− 350	+190	10
11	+2,2	69,62	+59	*+46*	− 380	0	11
12	+2,8	70,03	+53	+45	− 400	−130	12
13	+3,1	70,48	+50	+43	− 410	−230	13
14	+3,7	70,99	+46	+40	− 430	−310	14
15	+4,0	71,33	+41	+36	− 460	−380	15
16	+4,4	71,62	+37	+31	− 480	−450	16
17	+4,9	71,85	+33	+27	− 500	−510	17
18	+5,2	72,08	+28	+20	− 510	−580	18
19	+5,5	72,23	+23	+13	− 520	−620	19
20	+5,9	72,34	+19	+ 7	− 530	−650	20
21	+6,1	*72,40*	+13	0	− 540	−680	21
22	+6,3	72,39	+10	− 6	− *550*	−710	22
23	+6,5	72,33	+ 5	−12	− 540	− *740*	23
24	+*6,7*	72,19	0	−18	− 530	−720	24
25	+6,6	72,00	− 8	−25	− 510	−700	25
26	+6,5	71,72	−12	−31	− 480	−630	26
27	+6,4	71,43	−18	−37	− 440	−510	27
28	+6,2	71,07	−22	−41	− 340	−380	28
29	+5,9	70,70	−25	−46	− 180	−220	29
30	+5,6	70,22	−*27*	−*48*	0	0	30
31	+5,3	69,79	−21	−46	+ 450	+230	31
32	+5,1	69,38	−16	−41	+ 700	+510	32
33	+*5,0*	69,02	0	−33	+ 910	+680	33
34	+5,2	68,72	+ 5	−27	+*1060*	+770	34
35	+5,4	68,51	+15	−19	+1040	+*800*	35
36	+5,7	68,37	+23	−12	+ 950	+770	36
37	+6,1	68,26	+33	− 6	+ 810	+670	37
38	+6,4	*68,22*	+40	0	+ 550	+510	38
39	+6,8	68,25	+*44*	+ 4	0	+250	39
40	+7,3	68,30	+41	+ 7	− 300	0	40
40,9	+7,5	68,36	+37	+ 4	− 900	−240	40,9

Digitized by Google

Tabelle 19.

Bewegung des rechten Oberschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim III. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_2 relativ	z_2	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−5,2	69,68	+66	− 8	+250	− 50	0
1	−4,4	69,62	*+70*	*− 9*	0	0	1
2	−3,7	69,53	+68	− 7	− 90	+ 60	2
3	−3,1	69,46	+66	− 6	−200	+ 100	3
4	−2,5	69,39	+63	− 4	−270	+ 190	4
5	−1,9	69,32	+60	− 2	−290	+ 280	5
6	−1,5	*69,30*	+58	0	−300	+ 380	6
7	−1,0	69,32	+56	+ 5	−300	+ 480	7
8	−0,6	69,36	+52	+11	−310	+ 590	8
9	−0,1	69,48	+49	+16	−320	+ 720	9
10	+0,3	69,62	+44	+21	−330	+ 800	10
11	+0,7	69,87	+40	+28	−340	+ 870	11
12	+1,1	70,15	+38	+36	−360	+ *900*	12
13	+1,3	70,62	+33	+44	−370	+ 600	13
14	+1,8	71,10	+29	+*45*	−390	0	14
15	+2,0	71,49	+27	+40	−400	− 320	15
16	+2,3	71,83	+24	+35	−410	− 520	16
17	+2,4	72,10	+20	+30	−420	− 610	17
18	+2,6	72,32	+17	+26	−430	− 680	18
19	+2,8	72,48	+13	+19	−440	− 770	19
20	+2,9	72,61	+11	+12	−*450*	− 800	20
21	+3,0	72,69	+ 7	+ 7	−440	− 870	21
22	+3,0	*72,72*	+ 4	0	−440	− 900	22
23	+*3,1*	72,67	0	− 3	−430	− 930	23
24	+3,0	72,53	− 5	− 9	−410	− 970	24
25	+3,0	72,37	− 9	−15	−380	− 990	25
26	+2,9	72,20	−11	−22	−330	−*1000*	26
27	+2,8	71,95	−13	−29	−260	− 980	27
28	+2,8	71,68	−14	−35	−140	− 960	28
29	+2,7	71,32	−*18*	−42	0	− 860	29
30	+2,6	70,90	−16	−50	+150	− 550	30
31	+2,4	70,38	−13	−*51*	+270	0	31
32	+2,2	69,93	− 8	−44	+430	+ 730	32
33	+2,1	69,55	− 3	−36	+610	+ *820*	33
34	+*2,0*	69,24	0	−29	+690	+ 780	34
35	+2,2	69,01	+11	−23	+740	+ 670	35
36	+2,4	68,75	+19	−17	+*770*	+ 550	36
37	+2,7	68,61	+25	−15	+680	+ 440	37
38	+3,1	68,47	+32	−11	+530	+ 350	38
39	+3,4	68,37	+37	− 8	+330	+ 280	39
40	+3,9	68,29	+*40*	− 6	0	+ 240	40
41	+4,3	68,23	+36	− 4	−550	+ 190	41
41,45	+4,4	68,22	+33	− 3	−630	+ 170	41,45

Tabelle 20.

Bewegung des linken Oberschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim III. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−3,9	65,90	+*81*	−10	0	0	0
1	−3,2	65,79	+80	− *7*	− 60	+220	1
2	−2,6	*65,70*	+79	0	−120	+530	2
3	−1,7	65,72	+77	+ 7	−190	+750	3
4	−0,7	65,78	+75	+13	−240	+840	4
5	0	65,99	+73	+21	−280	+*900*	5
6	+0,6	66,32	+70	+28	−300	+850	6
7	+1,2	66,63	+68	+33	−310	+760	7
8	+1,9	67,00	+64	+40	−330	+630	8
9	+2,3	67,39	+60	+45	−350	+410	9
10	+2,9	67,88	+59	+49	−370	+200	10
11	+3,3	68,38	+55	+*50*	−380	0	11
12	+4,0	68,77	+50	+46	−390	−120	12
13	+4,6	69,18	+45	+41	−400	−210	13
14	+5,1	69,59	+41	+37	−420	−280	14
15	+5,4	69,91	+37	+32	−450	−340	15
16	+5,7	70,21	+32	+28	−470	−380	16
17	+6,0	70,49	+28	+22	−480	−410	17
18	+6,2	70,73	+24	+18	−490	−430	18
19	+6,4	70,90	+19	+12	−*500*	−460	19
20	+6,7	71,05	+14	+ 8	−490	−490	20
21	+6,8	71,13	+10	+ 5	−490	−510	21
22	+6,9	*71,17*	+ 6	0	−490	−540	22
23	+*7,0*	71,15	0	− 7	−480	−580	23
24	+6,9	71,07	− 3	−12	−470	−600	24
25	+6,9	70,91	− 8	−17	−450	−630	25
26	+6,8	70,72	−12	−23	−420	−*640*	26
27	+6,7	70,50	−16	−31	−380	−630	27
28	+6,6	70,23	−21	−37	−300	−610	28
29	+6,4	69,87	−24	−42	−200	−510	29
30	+6,2	69,42	−*27*	−47	0	−320	30
31	+5,9	68,97	−26	−*50*	+150	0	31
32	+5,8	68,51	−23	−48	+360	+350	32
33	+5,6	68,08	−18	−42	+590	+530	33
34	+5,4	67,69	−10	−37	+810	+660	34
35	+*5,2*	67,41	0	−30	+990	+*720*	35
36	+5,3	67,12	+ 7	−22	+*1080*	+710	36
37	+5,4	66,89	+18	−16	+1060	+670	37
38	+5,7	66,77	+29	− 9	+950	+600	38
39	+6,0	66,68	+34	− 5	+550	+510	39
40	+6,3	*66,63*	+*37*	0	0	+440	40
41	+6,7	66,64	+31	+ 3	−830	+380	41
41,3	+6,8	66,65	+28	+ 5	−1000	+350	41,3

Digitized by Google

Tabelle 21.

Bewegung des rechten Unterschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim I. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_4 relativ	z_4	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	− 23,4	33,93	+ 103	+ 14,0	+1200	+ 50	0
1	− 22,0	34,02	+ 115	+ 14,5	+1050	+ 40	1
2	− 20,8	34,17	+ 126	+ 14,7	+ 910	+ 30	2
3	− 19,7	34,30	+ 135	+ 15,1	+ 880	+ 20	3
4	− 18,2	34,46	+ 143	+ 15,3	+ 690	+ 10	4
5	− 16,7	34,59	+ 148	+ *15,5*	+ 590	0	5
6	− 15,0	34,73	+ 152	+ 15,4	+ 490	− 10	6
7	− 13,6	34,87	+ 157	+ 15,0	+ 400	− 20	7
8	− 12,3	35,02	+ 160	+ 14,7	+ 330	− 30	8
9	− 10,6	35,17	+ 162	+ 14,0	+ 270	− 40	9
10	− 9,1	35,30	+ 165	+ 13,5	+ 210	− 60	10
11	− 7,2	35,43	+ 167	+ 13,0	+ 170	− 70	11
12	− 5,7	35,54	+ 168	+ 12,1	+ 120	− 110	12
13	− 4,2	35,67	+ 169	+ 11,0	+ 90	− 170	13
14	− 2,4	35,77	+ *171*	+ 9,0	0	− 260	14
15	− 0,8	35,86	+ 170	+ 5,0	− 30	− 330	15
16	+ 0,7	35,88	+ 170	+ 2,0	− 90	− 450	16
17	+ 2,3	*35,90*	+ 169	0	− 140	− *520*	17
18	+ 4,0	35,85	+ 167	− 5,0	− 190	− 380	18
19	+ 5,9	35,78	+ 164	− 8,0	− 240	− 270	19
20	+ 7,3	35,65	+ 161	− 10,5	− 310	− 170	20
21	+ 8,8	35,54	+ 157	− 11,8	− 370	− 120	21
22	+ 10,4	35,43	+ 153	− 12,7	− 450	− 90	22
23	+ 12,2	35,30	+ 148	− 13,6	− 520	− *80*	23
24	+ 13,4	35,15	+ 143	− 14,4	− 590	− 90	24
25	+ 14,7	35,00	+ 135	− 15,5	− 640	− 110	25
26	+ 16,1	34,84	+ 128	− 16,7	− 720	− 140	26
27	+ 17,2	34,69	+ 119	− 18,0	− 790	− 170	27
28	+ 18,3	34,51	+ 109	− 19,5	− 890	− *270*	28
29	+ 19,2	34,32	+ 99	− 21,7	− 980	− 150	29
30	+ 20,2	34,13	+ 89	− *22,1*	− 1100	0	30
31	+ 21,2	33,93	+ 78	− 22,0	− 1250	+ *660*	31
32	+ 22,0	33,78	+ 67	− 16,6	− *1730*	+ 400	32
33	+ 22,7	33,63	+ 49	− 15,0	− 1470	+ 220	33
34	+ 23,2	33,50	+ 37	− 13,7	− 900	+ 120	34
35	+ 23,7	33,38	+ *34*	− 12,6	0	+ 40	35
36	+ 24,2	33,25	+ 37	− *12,3*	+ 500	0	36
37	+ 24,6	33,10	+ *38*	− 12,7	0	− 40	37
38	+ 24,8	32,98	+ 32	− 13,1	− 980	− 70	38
39	+ 25,0	32,82	+ 20	− 13,8	− *1100*	− 80	39
40	+ 25,1	32,68	+ 11	− 14,5	− 1050	− 90	40
41	+ *25,2*	32,52	0	− 14,9	− 870	− 100	41
41,5	+ 25,1	32,44	− 3	− 15,4	− 730	− 110	41,5

Digitized by Google

Tabelle 22.

Bewegung des linken Unterschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim I. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−23,3	36,05	+103	+24,5	+820	+130	0
1	−22,2	36,31	+110	+25,3	+740	+70	1
2	−21,2	36,53	+116	*+25,6*	+670	0	2
3	−19,8	36,79	+124	+25,2	+600	−70	3
4	−18,7	36,98	+128	+24,5	+530	−110	4
5	−17,6	37,18	+133	+22,6	+480	−150	5
6	−16,0	37,39	+137	+20,6	+420	−200	6
7	−14,4	37,58	+141	+18,5	+380	−230	7
8	−12,8	37,77	+144	+16,2	+320	−270	8
9	−11,5	37,93	+147	+13,7	+270	−300	9
10	−10,0	38,06	+150	+10,8	+230	−330	10
11	−8,7	38,14	+152	+7,4	+190	−380	11
12	−7,3	38,19	+154	+4,0	+170	−430	12
13	−5,8	*38,23*	+156	0	+130	*−500*	13
14	−4,3	38,21	+157	−4,0	+110	−450	14
15	−2,4	38,16	+158	−7,2	+90	−350	15
16	−1,0	38,08	+159	−9,8	+50	−290	16
17	+0,9	37,98	*+160*	−12,8	0	−230	17
18	+2,7	37,83	+159	−15,1	−50	−170	18
19	+4,1	37,64	+157	−16,7	−100	−130	19
20	+5,6	37,49	+155	−17,8	−160	*−100*	20
21	+6,8	37,32	+152	−18,8	−230	−110	21
22	+8,1	37,15	+149	−20,0	−290	−140	22
23	+9,6	36,94	+145	−21,7	−400	*−190*	23
24	+10,8	36,72	+142	−23,5	−520	−160	24
25	+11,9	36,49	+137	−27,4	−660	−60	25
26	+13,3	36,20	+130	*−28,0*	−820	0	26
27	+14,5	35,96	+122	−26,8	−930	+250	27
28	+16,0	35,72	+111	−23,5	−1270	*+340*	28
29	+17,3	35,51	+98	−20,7	−1520	+230	29
30	+18,2	35,31	+82	−18,8	*−1700*	+170	30
31	+18,9	35,10	+64	−17,5	−1610	+130	31
32	+19,6	34,92	+51	−16,1	−1380	+110	32
33	+20,1	34,76	+35	−14,9	−1050	+80	33
34	+20,5	34,61	+30	−13,8	−470	+70	34
35	+20,7	34,48	*+28*	−13,0	0	+40	35
36	+21,1	34,23	+32	−12,6	*+320*	+20	36
37	+21,4	34,20	*+33*	*−12,2*	0	0	37
38	+21,8	34,06	+27	−12,3	−730	−20	38
39	+22,0	33,93	+16	−12,5	−1050	−30	39
40	+22,1	33,79	+6	−12,7	*−1130*	−60	40
41	*+22,2*	33,66	0	−13,2	−1000	−80	41
41,7	+22,1	33,53	−11	−13,7	−770	−90	41,7

Tabelle 23.

Bewegung des rechten Unterschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim II. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in 1/100 Sekunden
	ξ_4 relativ	z_4	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	− 21,7	33,73	+ 107	+ 17,0	+ 980	+ 90	0
1	− 20,7	33,87	+ 117	+ 17,8	+ 880	+ 80	1
2	− 19,6	34,01	+ 126	+ 18,4	+ 770	+ 70	2
3	− 18,4	34,17	+ 132	+ 18,7	+ 670	+ 50	3
4	− 17,2	34,31	+ 137	+ 19,1	+ 580	+ 30	4
5	− 15,5	34,51	+ 143	+ 19,2	+ 480	+ 10	5
6	− 13,9	34,70	+ 148	*+ 19,3*	+ 400	0	6
7	− 12,3	34,89	+ 151	+ 19,0	+ 320	− 20	7
8	− 10,9	35,08	+ 154	+ 18,5	+ 240	− 40	8
9	− 9,2	35,27	+ 158	+ 17,8	+ 180	− 80	9
10	− 7,5	35,45	+ 159	+ 16,8	+ 120	− 110	10
11	− 6,0	35,63	+ 160	+ 15,8	+ 70	− 150	11
12	− 4,5	35,78	*+ 161*	+ 14,5	0	− 190	12
13	− 3,0	35,91	+ 160	+ 12,2	− 30	− 230	13
14	− 1,3	36,00	+ 159	+ 10,0	− 70	− 280	14
15	+ 0,1	36,08	+ 159	+ 7,0	− 110	− 320	15
16	+ 1,6	36,14	+ 158	+ 3,0	− 160	− 380	16
17	+ 3,0	*36,17*	+ 156	0	− 200	− 460	17
18	+ 4,7	36,13	+ 153	− 6,0	− 220	*− 530*	18
19	+ 5,9	36,05	+ 151	− 10,0	− 280	− 370	19
20	+ 7,2	35,93	+ 148	− 13,5	− 350	− 210	20
21	+ 8,7	35,76	+ 144	− 16,0	− 410	− 180	21
22	+ 9,9	35,53	+ 140	− 17,7	− 470	*− 170*	22
23	+ 11,4	35,31	+ 136	− 19,5	− 520	− 190	23
24	+ 12,6	35,08	+ 131	− 21,2	− 610	*− 200*	24
25	+ 13,9	34,83	+ 125	− 22,8	− 690	− 130	25
26	+ 15,0	34,62	+ 117	− 23,7	− 790	− 90	26
27	+ 16,1	34,42	+ 109	− 24,0	− 880	− 60	27
28	+ 17,1	34,21	+ 100	*− 24,2*	− 980	0	28
29	+ 18,2	34,00	+ 90	− 24,1	− 1080	+ 30	29
30	+ 19,4	33,78	+ 79	− 23,2	− 1240	+ 120	30
31	+ 20,2	33,57	+ 67	− 21,6	*− 1680*	+ 220	31
32	+ 20,9	33,33	+ 50	− 18,0	− 1400	*+ 340*	32
33	+ 21,4	33,13	+ 40	− 15,8	− 630	+ 280	33
34	+ 21,9	33,01	*+ 36*	− 13,5	0	+ 220	34
35	+ 22,3	32,89	+ 38	− 11,3	*+ 460*	+ 160	35
36	+ 22,8	32,81	+ 41	− 9,7	+ 350	+ 110	36
37	+ 23,2	32,72	*+ 43*	− 8,7	0	+ 60	37
38	+ 23,7	32,62	+ 36	*− 8,1*	− 1050	0	38
49	+ 23,9	32,55	+ 25	− 8,3	*− 1300*	− 80	39
40	+ 24,1	32,48	+ 12	− 9,5	− 1270	− 150	40
40,8	*+ 24,2*	32,44	0	− 10,6	− 1120	− 200	40,8

Tabelle 24.

Bewegung des linken Unterschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim II. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−22,3	35,75	+ 98	+24,2	+ 970	+ 80	0
1	−21,5	35,94	+105	+24,8	+ 900	+ 70	1
2	−20,5	36,19	+114	+25,0	+ 810	+ 30	2
3	−19,1	36,43	+122	*+25,2*	+ 710	0	3
4	−17,8	36,65	+130	+25,1	+ 630	− 40	4
5	−16,2	36,93	+133	+24,6	+ 570	− 80	5
6	−14,7	37,18	+139	+22,9	+ 520	−120	6
7	−13,3	37,39	+144	+21,5	+ 480	−170	7
8	−11,8	37,57	+148	+19,1	+ 420	−210	8
9	−10,5	37,78	+151	+17,0	+ 380	−250	9
10	− 8,8	37,93	+154	+14,2	+ 320	−290	10
11	− 7,5	38,03	+158	+11,2	+ 280	−320	11
12	− 5,9	38,13	+161	+ 8,0	+ 220	−380	12
13	− 4,5	38,18	+163	+ 5,0	+ 170	−400	13
14	− 2,7	*38,21*	+164	0	+ 100	−450	14
15	− 1,1	38,19	*+167*	− 5,0	0	−510	15
16	+ 0,4	38,14	+166	− 9,0	− 70	*−590*	16
17	+ 2,0	38,01	+165	−12,5	− 140	−470	17
18	+ 3,8	37,88	+162	−17,5	− 230	−330	18
19	+ 5,3	37,69	+160	−20,5	− 350	−210	19
20	+ 6,9	37,46	+156	−22,0	− 470	−150	20
21	+ 8,4	37,22	+150	−22,8	− 600	−110	21
22	+ 9,9	37,01	+143	−23,7	− 720	− *90*	22
23	+11,3	36,72	+134	−24,9	− 830	−110	23
24	+12,8	36,49	+126	−26,0	− 930	−150	24
25	+14,2	36,26	+116	−27,6	−1020	*−180*	25
26	+15,2	35,99	+105	*−28,9*	−1150	0	26
27	+16,2	35,70	+ 95	−28,3	−1320	+110	27
28	+17,2	35,45	+ 80	−26,0	*−1500*	+300	28
29	+18,0	35,19	+ 67	−21,5	−1390	*+410*	29
30	+18,6	34,99	+ 51	−17,8	−1120	+380	30
31	+19,2	34,87	+ 42	−15,0	− 580	+290	31
32	+19,7	34,69	+ *38*	−12,4	0	+220	32
33	+20,1	34,57	+ 41	−10,6	+ 450	+140	33
34	+20,6	34,47	+ *44*	−10,1	0	+ 50	34
35	+21,2	34,37	+ 42	− *9,9*	− 470	0	35
36	+21,8	34,26	+ 36	−10,0	− 860	− 50	36
37	+21,9	34,15	+ 27	−10,7	−1070	− 80	37
38	+22,2	34,00	+ 16	−11,5	*−1110*	−110	38
39	*+22,3*	33,88	0	−12,6	−1000	−130	39
40	+22,2	33,73	− 7	−13,8	− 810	−150	40
40,9	+22,1	33,60	− 12	−15,2	− 680	−160	40,9

Digitized by Google

Tabelle 25.

Bewegung des rechten Unterschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim III. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in 1/100 Sekunden
	ξ_4 relativ	z_4	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	— 22,3	36,84	+ 86	+ 19,3	+ 650	— 30	0
1	— 21,4	36,97	+ 92	+ 18,8	+ 610	— 40	1
2	— 20,6	37,11	+ 98	+ 18,2	+ 570	— 50	2
3	— 19,6	37,29	+ 103	+ 17,5	+ 530	— 60	3
4	— 18,4	37,46	+ 109	+ 16,8	+ 510	— 80	4
5	— 17,3	37,58	+ 113	+ 15,8	+ 480	— 110	5
6	— 16,3	37,75	+ 119	+ 14,3	+ 460	— 110	6
7	— 15,2	37,89	+ 122	+ 13,1	+ 420	— 150	7
8	— 14,0	37,99	+ 127	+ 11,2	+ 400	— 190	8
9	— 12,9	38,10	+ 131	+ 8,3	+ 380	— 210	9
10	— 11,7	38,19	+ 135	+ 7,1	+ 350	— 270	10
11	— 10,3	38,23	+ 140	+ 4,2	+ 320	— 320	11
12	— 9,2	*38,29*	+ 143	0	+ 290	— 480	12
13	— 7,8	38,28	+ 146	— 7,0	+ 250	*— 1000*	13
14	— 6,4	38,22	+ 149	— 13,0	+ 180	— 400	14
15	— 5,1	38,08	+ 151	— 15,5	+ 120	— 220	15
16	— 3,4	37,92	+ 152	— 16,8	+ 70	— 150	16
17	— 1,9	37,74	*+ 153*	— 17,8	0	— *100*	17
18	0	37,57	+ 152	— 19,3	— 110	— 110	18
19	+ 1,1	37,35	+ 151	— 20,8	— 210	— 150	19
20	+ 2,8	37,13	+ 149	— 22,0	— 340	— *180*	20
21	+ 4,5	36,94	+ 145	— 23,2	— 470	— 160	21
22	+ 5,8	36,71	+ 140	— 24,1	— 540	— 90	22
23	+ 7,2	36,47	+ 133	— 24,7	— 620	— 50	23
24	+ 8,5	36,25	+ 126	*— 24,9*	— 680	0	24
25	+ 9,7	36,03	+ 119	— 24,6	— 710	+ 50	25
26	+ 10,8	35,77	+ 111	— 23,5	— 770	+ 100	26
27	+ 11,8	35,53	+ 103	— 21,9	— 800	+ 190	27
28	+ 12,8	35,34	+ 93	— 19,8	— 860	+ *230*	28
29	+ 13,7	35,14	+ 85	— 18,5	— 900	+ 200	29
30	+ 14,7	34,98	+ 76	— 15,9	— 1010	+ 160	30
31	+ 15,6	34,83	+ 65	— 14,2	— 1110	+ 120	31
32	+ 16,2	34,70	+ 53	— 13,2	*— 1150*	+ 60	32
33	+ 16,8	34,54	+ 43	*— 12,7*	— 1000	0	33
34	+ 17,2	34,32	+ 36	— 12,9	— 550	— 60	34
35	+ 17,7	34,28	+ *33*	— 13,5	0	— 110	35
36	+ 18,1	34,13	+ 36	— 14,7	+ *420*	— 120	36
37	+ 18,5	33,98	+ *40*	— 15,8	0	— 160	37
38	+ 18,8	33,80	+ 37	— 17,0	— 720	— 180	38
39	+ 19,1	33,64	+ 27	— 18,5	— 1300	— 200	39
40	+ 19,3	33,48	+ 12	— 20,4	*— 1420*	— 220	40
41	*+ 19,4*	33,30	0	— 22,7	— 1040	— 240	41
41,48	+ 19,3	33,27	— 4	— 23,2	— 950	— 250	41,48

Digitized by Google

Tabelle 26.

Bewegung des linken Unterschenkelschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim III. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	− 21,5	33,55	+ 107	+ 23,0	+1030	+ 180	0
1	− 20,6	33,74	+ 116	+ 24,5	+ 930	+ 160	1
2	− 19,2	34,03	+ 125	+ 25,9	+ 780	+ 110	2
3	− 17,7	34,34	+ 131	+ 27,0	+ 680	+ 70	3
4	− 16,6	34,62	+ 139	+ *27,8*	+ 570	0	4
5	− 15,0	34,89	+ 142	+ 27,7	+ 480	− 50	5
6	− 13,5	35,13	+ 148	+ 26,9	+ 390	− 80	6
7	− 11,9	35,40	+ 151	+ 25,7	+ 310	− 120	7
8	− 10,5	35,68	+ 153	+ 24,5	+ 220	− 170	8
9	− 8,8	35,92	+ 154	+ 23,0	+ 160	− 210	9
10	− 7,4	36,13	+ 155	+ 20,7	+ 80	− 250	10
11	− 6,0	36,32	+ *156*	+ 18,5	0	− 290	11
12	− 4,3	36,50	+ 154	+ 15,0	− 40	− 350	12
13	− 2,9	36,62	+ 153	+ 11,0	− 90	− 380	13
14	− 1,3	36,67	+ 151	+ 7,4	− 120	− 440	14
15	0	*36,70*	+ 150	0	− 170	− 550	15
16	+ 1,4	36,69	+ 148	− 2,0	− 210	− *770*	16
17	+ 2,9	36,63	+ 146	− 7,5	− 270	− 520	17
18	+ 4,5	36,51	+ 143	− 11,0	− 320	− 380	18
19	+ 5,8	36,41	+ 140	− 14,5	− 370	− 300	19
20	+ 7,1	36,29	+ 136	− 17,0	− 420	− 240	20
21	+ 8,3	36,12	+ 131	− 19,0	− 470	− 180	21
22	+ 9,6	35,91	+ 127	− 20,9	− 530	− 150	22
23	+ 11,1	35,70	+ 120	− 22,1	− 580	− 120	23
24	+ 12,3	35,52	+ 113	− 23,5	− 630	− *110*	24
25	+ 13,4	35,29	+ 107	− 24,6	− 680	− 220	25
26	+ 14,5	35,02	+ 100	− 27,0	− 730	− *470*	26
27	+ 15,5	34,74	+ 93	− *28,7*	− 780	0	27
28	+ 16,3	34,48	+ 85	− 28,3	− 830	+ 110	28
29	+ 17,2	34,24	+ 76	− 27,0	− 910	+ 210	29
30	+ 18,0	34,00	+ 68	− 25,5	− 960	+ *220*	30
31	+ 18,7	33,76	+ 58	− 24,0	− *1000*	+ 200	31
32	+ 19,2	33,48	+ 48	− 23,5	− 980	+ 190	32
33	+ 19,6	33,25	+ 39	− 21,5	− 920	+ 170	33
34	+ 19,9	33,07	+ 30	− 20,0	− 810	+ 160	34
35	+ 20,1	32,86	+ 21	− 18,5	− 630	+ 160	35
36	+ 20,3	32,67	+ 17	− 17,4	− 440	+ 160	36
37	+ 20,4	32,48	+ 9	− 16,3	− 290	+ 140	37
38	+ 20,5	32,27	+ 7	− 15,0	− *180*	+ 120	38
39	+ *20,6*	32,10	0	− 13,7	− 190	+ 90	39
40	+ 20,5	31,97	− 2	− *12,6*	− 320	0	40
41	+ 20,5	31,83	− 7	− 12,8	− 480	− 60	41
41,3	+ 20,4	31,80	− 9	− 13,2	− 510	− 100	41,3

Digitized by Google

Tabelle 27.

Bewegung des rechten Fußschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim I. Versuch.

Zeit in $^1/_{10}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−40,7	13,23	0	+100	+3490	0	0
1	−40,5	14,12	+ 29	+ 96	+3470	− 500	1
2	−40,0	15,15	+ 57	+ 88	+3330	−1600	2
3	−39,3	15,96	+ 86	+ 70	+3120	−2130	3
4	−38,4	16,48	+112	+ 52	+2850	−2080	4
5	−37,2	16,73	+135	+ 35	+2540	−1770	5
6	−35,7	16,85	+158	+ 11	+2300	−1560	6
7	−34,1	16,86	+178	0	+1970	−1370	7
8	−32,5	16,80	+195	− 17	+1650	−1160	8
9	−30,7	16,47	+209	− 28	+1440	−1010	9
10	−28,5	16,10	+221	− 37	+1030	− 860	10
11	−26,0	15,75	+232	− 43	+ 720	− 730	11
12	−23,7	15,23	+242	− 50	+ 500	− 600	12
13	−21,5	14,74	+250	− 57	+ 540	− 470	13
14	−19,4	14,10	+259	− 61	+ 710	− 350	14
15	−16,5	13,40	+267	− 66	+ 860	− 230	15
16	−13,8	12,70	+273	− 67	+ 900	− 110	16
17	−10,7	12,05	+282	− 68	+ 840	0	17
18	− 7,6	11,50	+289	− 65	+ 710	+ 200	18
19	− 4,7	10,94	+295	− 59	+ 520	+ 360	19
20	− 1,2	10,33	+302	− 53	+ 330	+ 530	20
21	+ 1,8	9,84	+307	− 47	+ 170	+ 690	21
22	+ 5,5	9,38	+318	− 37	0	+ 850	22
23	+ 9,2	9,07	+312	− 28	− 210	+1010	23
24	+12,0	8,87	+311	− 19	− 400	+1150	24
25	+15,2	8,82	+307	− 8	− 670	+1270	25
26	+18,3	8,80	+302	0	− 870	+1360	26
27	+22,1	8,95	+293	+ 17	−1110	+1420	27
28	+24,7	9,20	+283	+ 31	−1300	+1370	28
29	+27,4	9,58	+267	+ 47	−1550	+1300	29
30	+30,1	10,10	+251	+ 60	−1760	+1120	30
31	+32,3	10,85	+227	+ 68	−2080	+ 850	31
32	+34,9	11,50	+204	+ 72	−2490	0	32
33	+37,0	12,14	+181	+ 66	−2950	− 600	33
34	+38,7	12,65	+152	+ 52	−3600	−2300	34
35	+39,9	12,87	+113	+ 30	−5500	−3100	35
36	+40,6	12,92	+ 68	0	−8100	−3170	36
37	+40,8	12,85	0	− 29	−6000	−2500	37
38	+40,5	12,72	− 70	− 52	−2500	−1900	38
39	+39,8	12,30	− 75	− 67	0	−1250	39
40	+39,2	11,58	− 67	− 74	+1450	− 500	40
41	+38,3	11,17	− 54	− 77	+1530	0	41
41,5	+37,8	11,00	− 52	− 75	+1200	+ 400	41,5

Digitized by Google

Tabelle 28.

Bewegung des linken Fußschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim I. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_r relativ	z_r	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	*−41,6*	13,60	0	*+129*	+2800	0	0
1	−41,3	14,40	+ 20	+127	+3040	− 900	1
2	−40,8	15,50	+ 48	+116	*+3080*	−1750	2
3	−40,0	16,10	+ 77	+ 95	+2970	−2330	3
4	−39,1	16,75	+106	+ 70	+2800	*−2530*	4
5	−38,0	17,22	+130	+ 48	+2540	−2490	5
6	−36,3	17,46	+157	+ 24	+2350	−2200	6
7	−34,5	*17,64*	+178	0	+2130	−1850	7
8	−32,7	17,56	+301	− 17	+1980	−1530	8
9	−30,6	17,40	+218	− 30	+1690	−1250	9
10	−28,4	16,92	+235	− 42	+1490	−1080	10
11	−25,9	16,35	+248	− 52	+1270	− 880	11
12	−23,5	15,80	+261	− 58	+1060	− 670	12
13	−20,8	15,15	+269	− 64	+ 850	− 490	13
14	−18,1	14,50	+277	− 68	+ 670	− 330	14
15	−15,9	13,90	+282	− 71	+ 450	− 180	15
16	−13,2	13,25	+286	*− 73*	+ 340	0	16
17	−10,3	12,65	+289	− 71	+ 240	+ 100	17
18	− 6,5	11,85	+292	− 69	+ *220*	+ 250	18
19	− 4,0	11,20	+295	− 67	+ 330	+ 390	19
20	− 1,3	10,60	+301	− 63	+ 600	+ 500	20
21	+ 1,5	10,15	+306	− 54	+ *780*	+ 660	21
22	+ 4,2	9,60	+311	− 47	+ 700	+ 800	22
23	+ 8,0	9,25	+317	− 36	+ 470	+ 960	23
24	+10,8	8,90	*+320*	− 24	0	+1130	24
25	+14,0	8,63	+320	− 13	− 190	+1350	25
26	+17,3	*8,52*	+317	0	− 480	+1540	26
27	+21,5	8,56	+310	+ 13	− 750	*+1720*	27
28	+24,5	8,76	+298	+ 29	−1020	+1670	28
29	+28,3	9,07	+287	+ 48	−1340	+1420	29
30	+30,6	9,59	+268	+ 59	−1950	+1050	30
31	+33,0	10,30	+243	+ 71	−2980	+ 600	31
32	+34,7	11,20	+217	+ *73*	−3740	0	32
33	+36,4	11,80	+182	+ 70	−4150	− 550	33
34	+37,5	12,40	+148	+ 59	−4400	−1250	34
35	+38,5	12,57	+100	+ 33	*−4420*	−2500	35
36	+39,3	*12,63*	+ 50	0	−4370	*−4400*	36
37	*+39,8*	12,58	0	− 28	−4150	−3300	37
38	+39,5	12,26	− 41	− 55	−3620	−1850	38
39	+39,0	11,60	− 71	− 72	−2700	− 850	39
40	+38,2	10,90	− 92	*− 80*	−1250	0	40
41	+37,2	10,10	*− 96*	− 79	0	+ 250	41
41,7	+36,7	9,55	− 89	− 76	+1200	+ 500	41,7

Digitized by Google

Tabelle 29.

Bewegung des rechten Fußschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim II. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in 1/100 Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−39,9	13,41	0	+89	+3570	0	0
1	−39,8	14,30	+ 22	+87	+3540	− 480	1
2	−39,4	15,15	+ 50	+77	+3270	−1040	2
3	−38,5	15,95	+ 81	+62	+2920	−1570	3
4	−37,3	16,40	+107	+45	+2540	−1800	4
5	−36,1	16,73	+130	+31	+2240	−1750	5
6	−35,0	16,87	+149	+15	+2000	−1570	6
7	−33,3	16,88	+168	0	+1780	−1380	7
8	−31,6	16,80	+186	−11	+1570	−1180	8
9	−29,0	16,64	+202	−21	+1350	−1050	9
10	−26,9	16,27	+218	−30	+1130	− 920	10
11	−24,7	15,95	+229	−40	+ 930	− 830	11
12	−22,3	15,44	+238	−50	+ 820	− 690	12
13	−20,0	14,90	+249	−57	+ 860	− 580	13
14	−16,9	14,43	+260	−61	+1020	− 440	14
15	−14,8	13,87	+271	−64	+1210	− 310	15
16	−12,3	13,02	+282	−65	+1230	− 130	16
17	− 9,4	12,38	+290	−66	+1090	0	17
18	− 6,3	11,69	+297	−64	+ 870	+ 180	18
19	− 3,6	11,13	+301	−61	+ 580	+ 310	19
20	0	10,39	+307	−57	+ 270	+ 480	20
21	+ 2,9	9,78	+309	−51	0	+ 670	21
22	+ 6,0	9,15	+308	−46	− 180	+ 820	22
23	+ 8,7	8,83	+307	−37	− 300	+1000	23
24	+11,9	8,62	+304	−25	− 420	+1150	24
25	+15,0	8,52	+300	−12	− 510	+1300	25
26	+18,1	8,50	+294	0	− 630	+1500	26
27	+21,0	8,58	+285	+18	− 770	+1650	27
28	+23,8	8,78	+275	+33	− 990	+1570	28
29	+26,3	9,19	+260	+48	−1380	+1350	29
30	+29,2	9,66	+242	+57	−1880	+1010	30
31	+32,1	10,12	+225	+63	−2520	+ 380	31
32	+34,5	10,73	+200	+66	−3350	0	32
33	+35,9	11,40	+171	+56	−5260	−2350	33
34	+37,0	11,85	+120	+42	−5200	−3700	34
35	+38,2	12,28	+ 78	+15	−4580	−4200	35
36	+38,8	12,59	+ 23	0	−3750	−2650	36
37	+39,0	12,54	0	−38	−2860	−1700	37
38	+38,8	12,13	− 72	−51	−1950	− 950	38
39	+38,4	11,10	− 80	−60	0	− 450	39
40	+37,7	10,10	− 73	−63	+2410	0	40
40,8	+37,3	9,55	− 62	−60	+2230	+ 160	40,8

Tabelle 30.

Bewegung des linken Fußschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim II. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_7 relativ	z_7	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−*40,5*	12,75	0	+*121*	+3040	0	0
1	−40,3	13,58	+ 27	+120	+3180	− 330	1
2	−39,8	14,40	+ 58	+112	+*3280*	−1150	2
3	−39,0	15,45	+ 89	+ 95	+3230	−1820	3
4	−37,9	16,40	+115	+ 87	+3040	−*2230*	4
5	−36,7	16,93	+143	+ 56	+2750	−2440	5
6	−35,3	17,23	+169	+ 30	+2420	−*2480*	6
7	−33,5	*17,35*	+192	0	+1930	−2330	7
8	−31,6	17,32	+212	− 14	+1520	−1960	8
9	−29,6	17,10	+222	− 29	+1170	−1640	9
10	−27,3	16,70	+231	− 45	+ 930	−1330	10
11	−25,0	16,17	+240	− 54	+ 790	−1030	11
12	−22,4	15,55	+249	− 62	+ 720	− 800	12
13	−19,2	15,00	+258	− 68	+ *710*	− 580	13
14	−16,9	14,30	+265	− 71	+ 770	− 370	14
15	−14,2	13,54	+274	− 74	+ 880	− 170	15
16	−11,3	12,82	+284	− *76*	+1020	0	16
17	− 8,6	12,15	+295	− 73	+1100	+ 140	17
18	− 5,6	11,53	+305	− 70	+*1110*	+ 290	18
19	− 2,7	10,82	+313	− 68	+1040	+ 440	19
20	+ 0,6	10,23	+322	− 61	+ 900	+ 570	20
21	+ 3,5	9,61	+330	− 54	+ 650	+ 700	21
22	+ 7,0	9,12	+*337*	− 47	0	+ 850	22
23	+10,1	8,75	+336	− 34	− 450	+1070	23
24	+14,2	8,43	+333	− 22	− 930	+1220	24
25	+17,3	8,36	+322	− 10	−1230	+1410	25
26	+20,2	*8,33*	+308	0	−1510	+1690	26
27	+22,9	8,42	+290	+ 28	−1770	+*1850*	27
28	+25,8	8,70	+272	+ 49	−2020	+1610	28
29	+28,3	9,12	+254	+ 67	−2200	+1300	29
30	+30,5	9,73	+230	+ 82	−2380	+1010	30
31	+32,9	10,40	+207	+ 92	−2610	+ 630	31
32	+34,8	11,22	+180	+ *96*	−2880	0	32
33	+36,5	11,82	+151	+ 92	−3210	− 250	33
34	+37,8	12,23	+107	+ 77	−3850	−1250	34
35	+39,0	12,37	+ 63	+ 48	−5500	−*4750*	35
36	+*39,8*	*12,40*	0	0	−*7320*	−4000	36
37	+39,6	12,31	− 65	− 40	−5200	−3050	37
38	+39,1	11,82	− *88*	− 63	0	−1900	38
39	+38,4	11,12	− 87	− 76	+1050	−1000	39
40	+37,7	10,35	− 80	− *80*	+*1410*	0	40
40,9	+36,9	9,50	− 67	− 76	+1000	+ 600	40,9

Digitized by Google

Tabelle 31.

Bewegung des rechten Fußschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim III. Versuch.

Zeit in 1/100 Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in 1/100 Sekunden
	ξ_s relativ	z_s	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	− 38,5	13,50	− 73	+105	+ 2800	+ 550	0
1	− 38,3	14,20	− 62	*+107*	*+ 2900*	0	1
2	− 37,8	15,23	− 45	+ 98	+ 2860	− 1050	2
3	− 37,1	16,00	− 20	+ 82	+ 2700	− 2220	3
4	− 36,3	16,55	0	+ 60	+ 2500	*− 2350*	4
5	− 35,2	16,98	+ 30	+ 39	+ 2300	− 2170	5
6	− 34,0	17,19	+ 58	+ 22	+ 2050	− 1910	6
7	− 32,3	*17,26*	+ 80	0	+ 1780	− 1610	7
8	− 30,9	17,24	+ 107	− 10	+ 1610	− 1390	8
9	− 29,3	17,11	+ 130	− 22	+ 1360	− 1220	9
10	− 27,4	16,80	+ 148	− 32	+ 1160	− 1080	10
11	− 25,5	16,25	+ 163	− 41	+ 950	− 920	11
12	− 23,7	15,55	+ 178	− 50	+ 780	− 780	12
13	− 21,6	14,73	+ 197	− 58	+ 650	− 590	13
14	− 19,2	14,14	+ 211	− 63	+ *620*	− 440	14
15	− 16,5	13,45	+ 226	− 66	+ 760	− 290	15
16	− 14,2	12,80	+ 237	− 68	+ 870	− 130	16
17	− 11,2	12,10	+ 248	*− 69*	+ *930*	0	17
18	− 8,1	11,42	+ 258	− 67	+ 900	+ 150	18
19	− 4,9	10,87	+ 270	− 64	+ 790	+ 300	19
20	− 1,7	10,12	+ 282	− 60	+ 620	+ 450	20
21	+ 1,1	9,63	+ 292	− 52	+ 440	+ 580	21
22	+ 4,0	9,13	+ 301	− 46	+ 220	+ 700	22
23	+ 7,5	8,55	*+ 315*	− 37	0	+ 870	23
24	+ 10,6	8,31	+ 312	− 28	− 250	+ 1030	24
25	+ 13,2	8,08	+ 312	− 12	− 510	+ 1220	25
26	+ 16,2	*8,00*	+ 309	0	− 800	+ 1410	26
27	+ 19,3	8,11	+ 302	+ 18	− 1130	+ 1620	27
28	+ 22,6	8,38	+ 289	+ 37	− 1460	+ 1870	28
29	+ 25,5	8,85	+ 267	+ 59	− 1780	*+ 1990*	29
30	+ 28,3	9,40	+ 243	+ 73	− 2080	+ 1600	30
31	+ 30,8	10,35	+ 220	+ *82*	− 2380	0	31
32	+ 32,8	11,27	+ 190	+ 76	− 2700	− 1000	32
33	+ 34,4	11,77	+ 155	+ 52	− 3050	*− 3000*	33
34	+ 35,7	11,98	+ 124	+ 25	− 3850	− 2770	34
35	+ 36,6	*12,05*	+ 63	0	− 5140	− 2300	35
36	+ *37,3*	11,97	0	− 16	− 6400	− 1880	36
37	+ 37,1	11,70	− 45	− 32	*− 6800*	− 1520	37
38	+ 36,8	11,25	− 70	− 48	− 3500	− 1040	38
39	+ 36,5	10,65	*− 75*	− 58	0	− 680	39
40	+ 35,9	9,90	− 70	− 64	*+ 1170*	− 310	40
41	+ 35,2	9,23	− 60	*− 67*	+ 1020	0	41
41,45	+ 34,8	9,00	− 58	− 65	+ 880	+ 110	41,45

Tabelle 32.

Bewegung des linken Fußschwerpunktes während der Periode des Schwingens beim III. Versuch.

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	Koordinaten in cm		Geschwindigkeiten in cm sec^{-1}		Beschleunigungen in cm sec^{-2}		Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	ξ_1 relativ	z_1	Gangrichtung relativ	Vertikale Richtung	Gangrichtung	Vertikale Richtung	
0	−39,8	11,64	+ 7	+*133*	+*3400*	0	0
1	−39,7	12,72	+ 30	+131	+3380	−2150	1
2	−39,1	13,48	+ 62	+110	+3260	−*2690*	2
3	−38,2	14,75	+ 90	+ 82	+2990	−2670	3
4	−36,9	15,74	+120	+ 60	+2600	−2400	4
5	−35,6	16,23	+147	+ 40	+2170	−2080	5
6	−33,9	16,52	+166	+ 24	+1800	−1790	6
7	−32,3	16,70	+185	+ 10	+1500	−1540	7
8	−30,6	*16,72*	+200	0	+1200	−1370	8
9	−28,5	16,63	+211	− 14	+ 970	−1240	9
10	−26,4	16,45	+222	− 25	+ 770	−1070	10
11	−24,3	16,07	+229	− 35	+ *720*	− 940	11
12	−22,1	15,53	+237	− 45	+ 740	− 740	12
13	−19,8	15,00	+245	− 53	+ 810	− 560	13
14	−17,5	14,50	+252	− 58	+ 920	− 390	14
15	−14,7	13,90	+260	− 62	+ *970*	− 220	15
16	−12,0	13,35	+267	− 64	+ 860	− 70	16
17	− 9,2	12,70	+273	− *66*	+ 750	0	17
18	− 6,3	12,10	+280	− 63	+ 600	+ 170	18
19	− 3,7	11,43	+287	− 61	+ 450	+ 300	19
20	− 0,7	10,90	+293	− 58	+ 280	+ 430	20
21	+ 2,1	10,40	+296	− 51	+ 130	+ 540	21
22	+ 5,0	9,92	+*297*	− 45	0	+ 670	22
23	+ 8,2	9,53	+296	− 36	− 220	+ 800	23
24	+11,1	9,22	+292	− 26	− 380	+ 970	24
25	+14,1	8,99	+287	− 15	− 550	+1120	25
26	+16,9	*8,92*	+280	0	− 720	+1340	26
27	+19,8	8,94	+271	+ 9	− 910	+1650	27
28	+22,5	9,08	+260	+ 22	−1090	+1820	28
29	+25,2	9,33	+247	+ 37	−1400	+*1890*	29
30	+27,8	9,22	+230	+ 53	−1850	+1250	30
31	+29,9	10,20	+212	+ 61	−2850	+ 550	31
32	+31,8	11,00	+184	+ *63*	−3450	0	32
33	+33,7	11,50	+151	+ 53	−3680	−1470	33
34	+35,2	11,95	+113	+ 38	−*3740*	−2100	34
35	+36,1	12,11	+ 75	+ 17	−3720	−*3020*	35
36	+36,7	*12,13*	+ 39	0	−3580	−2550	36
37	+*36,9*	12,00	0	− 25	−3300	−1900	37
38	+36,8	11,64	− 35	− 42	−2950	−1370	38
39	+36,5	11,05	− 63	− 52	−2570	− 900	39
40	+35,8	10,60	− 84	− 58	−1930	− 520	40
41	+35,1	10,02	− 98	− 59	−1180	− 130	41
41,3	+34,7	9,85	−101	− *61*	−1000	0	41,3

Digitized by Google

In diesen Tabellen in Verbindung mit den früheren Tabellen 6 bis 11 ist nun die sichere kinematische Grundlage gegeben, auf welcher sich die weiter oben angedeutete kinetische Untersuchung der beim Schwingen wirksamen Kräfte aufbauen kann. Daß diese Grundlage eine sichere ist, lehrt die Vergleichung der 6 nebeneinander stehenden Felder der Tafeln IV und V ebenso wie die der Tafeln I, II und III. Bis auf geringe Unregelmäßigkeiten und Abweichungen in den Beschleunigungskurven, welche naturgemäß mit größeren Fehlern behaftet sein müssen als die Geschwindigkeitskurven und die Wegkurven, stimmen entsprechende Diagramme in den 6 Feldern der Gestalt nach überein; Unterschiede sind nur in den Werten der Maxima und Minima wahrzunehmen. Es müssen also die Schwingungsbewegungen des rechten wie des linken Beins bei allen drei Versuchen qualitativ dieselben gewesen sein; denn die durch die genaue kinematische Analyse aufgedeckten Unterschiede sind nur quantitative.

Da die Bewegung des Fußschwerpunktes schon im IV. Teil (Seite 535ff.) beschrieben worden ist, so soll hier nur noch in groben Zügen die Bewegung der Schwerpunkte des Oberschenkels und Unterschenkels während der Periode des Schwingens geschildert werden.

Der *Schwerpunkt des Oberschenkels* besitzt in der Projektion auf die Gangrichtung zu Beginn der Schwingung schon eine beträchtliche nach vorn gerichtete relative Geschwindigkeit. Seine absolute Geschwindigkeit geht also weit über die mittlere Ganggeschwindigkeit hinaus. Diese Anfangsgeschwindigkeit, mit der sich nun der Schwerpunkt des Oberschenkels nach vorn bewegt, ist nahezu die größte, welche er überhaupt während der Periode des Schwingens erhält; denn das Maximum tritt bei den meisten Versuchen nur wenige Hundertstel Sekunden nach dem Beginn des Schwingens ein, wenn es nicht, wie im III. Versuch beim linken Bein, überhaupt mit dem Ablösen des Fußes vom Boden zusammenfällt. Nachdem das Maximum der Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung erreicht ist, nimmt die relative Geschwindigkeit ziemlich gleichmäßig ab, bis sie etwa in der 24ten Phase, d. h. also 0,24 sec nach dem Beginn der Schwingung auf den Wert Null herabgesunken ist; in diesem Moment ist natürlich dann die absolute Geschwindigkeit gleich der mittleren Ganggeschwindigkeit, und der Schwerpunkt bleibt einen Moment gegen die mit der

Digitized by Google

mittleren Ganggeschwindigkeit gleichmäßig fortschreitende Frontalebene in Ruhe. Daraufhin wird die relative Geschwindigkeit negativ und erreicht in der 30ten Phase ein Minimum. Nun nimmt die Geschwindigkeit wieder zu, d. h. es vermindert sich zunächst die Größe der negativen Geschwindigkeit, bis dieselbe, etwa in der 34ten Phase, zu Null geworden ist und dann durch zunehmende positive Geschwindigkeit abgelöst wird, welche mit Ausnahme des I. Versuchs rechts noch kurz vor dem Aufsetzen des Beins ein Maximum erreicht, das jedoch an Größe hinter dem ersten Maximum zurücksteht. Während der Zeit, in welcher die relative Geschwindigkeit einen negativen Wert besaß, bewegte sich natürlich der Schwerpunkt des Oberschenkels relativ zu der gleichmäßig fortschreitenden Frontalebene nach hinten.

Dem anfänglichen geringen Ansteigen der Geschwindigkeit entspricht ein positiver Wert der Beschleunigung. In dem Moment, in welchem die Geschwindigkeit ihr erstes Maximum erreicht, geht die Beschleunigung durch den Wert Null hindurch und verwandelt sich von nun an in Verzögerung der positiven, beziehungsweise Beschleunigung der negativen, nach rückwärts gerichteten relativen Geschwindigkeit. Dieselbe erreicht etwa in der 20ten Phase ihren größten absoluten Wert und nimmt dann wieder ab, bis sie im Moment des Minimums der Geschwindigkeit abermals zu Null geworden ist. Daraufhin wird die Beschleunigung positiv. Da zunächst die relative Geschwindigkeit noch negativen Wert besitzt, so ist eine positive Beschleunigung gleichbedeutend mit Verzögerung der nach rückwärts gerichteten relativen Geschwindigkeit; erst von dem Moment an, wo die Geschwindigkeit selbst positiv wird, deutet die positive Beschleunigung darauf hin, daß die nach vorn gerichtete Geschwindigkeit an Größe zunimmt.

Bei der absoluten Geschwindigkeit liegen die Verhältnisse anders; diese ist für den Schwerpunkt des Oberschenkels stets positiv. Es zeigt daher ein positiver oder negativer Wert der Beschleunigung direkt an, daß die absolute Geschwindigkeit sich vermehrt oder vermindert, die Bewegung also beschleunigt oder verzögert ist. Dies ist immer im Auge zu behalten, wenn man die Diagramme richtig deuten will.

Die positive Beschleunigung erreicht in der 36ten Phase ein Maximum, geht etwa 0,02 sec vor dem Aufsetzen des Beins nochmals durch Null hindurch, so daß sie im Moment des Aufsetzens

Digitized by Google

selbst wiederum einen negativen Wert besitzt. Eine Ausnahme hiervon macht nur der I. Versuch rechts, bei welchem zu Ende der Periode des Schwingens die Beschleunigung noch einen positiven, wenn auch nur geringen Wert besitzt.

In vertikaler Richtung gestaltet sich die Bewegung des Oberschenkelschwerpunktes folgendermaßen.

Zu Anfang der Schwingung besitzt der Schwerpunkt des Oberschenkels negative, also nach unten gerichtete Geschwindigkeit, so daß er sich zunächst dem Fußboden nähert. Die Geschwindigkeit nimmt aber bald bis auf den Wert Null ab und wird nun positiv; der Schwerpunkt bewegt sich also von da an nach oben. Diese Aufwärtsbewegung findet erst mit zunehmender und dann mit abnehmender Geschwindigkeit statt. Das Maximum der letzteren findet etwa 0,12 sec nach dem Anfang der Schwingung statt. In der 22ten Phase hat die Geschwindigkeit wieder den Wert Null erreicht, so daß sich von da an der Schwerpunkt des Oberschenkels nur abwärts bewegt; dies tut er mit erst zunehmender und dann wieder abnehmender Geschwindigkeit, welche jetzt natürlich einen negativen Wert besitzt. Das Maximum dieser nach unten gerichteten Geschwindigkeit findet in der 31. Phase statt. Kurz vor dem Aufsetzen des Fußes auf den Boden ändert der Schwerpunkt mit Ausnahme des III. Versuches rechts wieder seine Bewegungsrichtung; er erlangt jedoch bei dieser letzten Aufwärtsbewegung keine große Geschwindigkeit. In einem Falle (I. Versuch rechts) ist sie im Moment des Aufsetzens von Null nicht verschieden, in einem anderen Falle (II. Versuch rechts) hat sie sogar zuletzt wieder einen geringen negativen Wert angenommen. Man kann daher im allgemeinen sagen, daß der Schwerpunkt des Oberschenkels zu Ende der Schwingung die Geschwindigkeit Null in seiner vertikalen Bewegung besitzt.

Für die Bewegung des *Schwerpunktes vom Unterschenkel* ist zunächst charakteristisch, daß sie mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit in der Gangrichtung, dagegen mit nur geringer Geschwindigkeit in der vertikalen Richtung stattfindet.

Die relative Geschwindigkeit in der Gangrichtung ist fast bis zum Ende positiv und dabei bedeutend größer als die gleichzeitige horizontale Geschwindigkeit des Schwerpunktes vom Oberschenkel. Nur gegen das Ende der Schwingungsperiode bewegt sich der Schwerpunkt des Unterschenkels langsamer als der des Ober-

schenkels, in den meisten Fällen ist seine relative Geschwindigkeit ganz zuletzt sogar negativ geworden, ohne jedoch einen beträchtlichen Wert in der Richtung nach hinten zu erreichen. Vom Anfang der Periode des Schwingens an nimmt die positive Geschwindigkeit des Schwerpunktes zunächst zu, bis sie im Durchschnitt etwa in der 15ten Phase das Maximum erreicht hat. Die Beschleunigung ist infolgedessen zunächst positiv und wird 0,15 sec nach dem Beginn der Schwingung zu Null. Darauf nimmt die Geschwindigkeit wieder ab, die Beschleunigung wird also negativ, d. h. sie geht in Verzögerung über. Mit Ausnahme einer kleinen nur 0,02 sec dauernden Periode gegen das Ende der Schwingung, wo die Beschleunigung vorübergehend noch einmal positiv wird, also die Geschwindigkeit wieder etwas zunimmt, bleibt die weitere Bewegung des Unterschenkel-Schwerpunktes verzögert. Die Verzögerung erleidet zwei ausgesprochene Maxima (Minima der Beschleunigung), das eine 0,31 sec, das andere 0,38 sec nach dem Beginn der Schwingung. Dazwischen erfährt die Beschleunigung in der kleinen positiven Periode ein niedriges Maximum, ungefähr in der 36ten Bewegungsphase. Beim III. Versuch verhält sich der linke Unterschenkel insofern etwas abweichend, als die kleine Periode positiver Beschleunigung und auch das zweite Maximum der Verzögerung nicht nachweisbar sind. An Stelle des kleinen Maximums der Beschleunigung ist hier ein Minimum der Verzögerung getreten.

Während die Geschwindigkeit des Unterschenkelschwerpunktes in der Gangrichtung bedeutend größere Werte annimmt als die entsprechende Geschwindigkeit des Schwerpunktes vom Oberschenkel, ist das Verhältnis bei der Bewegung in der vertikalen Richtung gerade umgekehrt. Hier nimmt die Bewegung des Unterschenkelschwerpunktes nur so geringe Geschwindigkeit an, daß die zugehörigen Geschwindigkeitskurven auf Tafel V sich nicht sehr weit von der Abszissenachse entfernen. Daher sind dieselben noch außerdem mit zehnfacher Vergrößerung der Ordinaten (punktiert) in Tafel V aufgezeichnet worden, um das Verhalten der Geschwindigkeit während der Periode des Schwingens deutlicher erkennen und übersehen zu können. Es zeigt sich an denselben, daß der Schwerpunkt des Unterschenkels zu Anfang der Schwingungsperiode positive, d. h. also nach oben gerichtete Geschwindigkeit besitzt; dieselbe nimmt in fast allen Fällen erst etwas zu und dann wieder ab, bis sie im Durchschnitt in der

Digitized by Google

15ten Phase zu Null geworden ist. Die Bewegung nach oben ist also im Anfang beschleunigt, geht aber bald in verzögerte über. Nach der 15ten Phase nimmt die Geschwindigkeit das negative Vorzeichen an, das sie bis zum Ende der Schwingung auch beibehält. Die Bewegung des Unterschenkelschwerpunktes geht also in dieser ganzen Zeit nach abwärts. Diese Abwärtsbewegung ist zunächst bis etwa zur 27ten Phase beschleunigt, wird dann einige Zeit verzögert und ungefähr von der 36ten Phase an wieder beschleunigt.

Vergleicht man die schon im IV. Teil beschriebene Bewegung des Fußschwerpunktes in der Periode des Schwingens mit der gleichzeitigen Bewegung der Schwerpunkte des Ober- und Unterschenkels, so erkennt man aus den Diagrammen auf den Tafeln IV und V zunächst, daß der Schwerpunkt des Fußes sowohl größere Geschwindigkeiten als auch größere Beschleunigungen besitzt als die Schwerpunkte des Ober- und Unterschenkels. Dies prägt sich vor allen Dingen in den zur Bewegung in der Gangrichtung gehörenden Diagrammen sehr deutlich aus. Außerdem kann man konstatieren, daß die Bewegung des Fußschwerpunktes, vor allen Dingen in der vertikalen Richtung, fast in jedem Moment der Periode des Schwingens der Bewegung des Oberschenkelschwerpunktes entgegengesetzt verläuft. Wenn diese nach oben gerichtet ist, findet jene in der Richtung nach unten statt und umgekehrt. Wenn ferner die Geschwindigkeit in der vertikalen Richtung, oder auch die absolute Geschwindigkeit in der Gangrichtung, bei dieser ein Minimum aufweist, besitzt sie bei jener ein Maximum. Desgleichen entspricht für beide Bewegungsrichtungen fast überall einem Maximum der Beschleunigung des einen ein Minimum der Beschleunigung des anderen und umgekehrt. Es findet somit zwischen den Bewegungen dieser beiden Schwerpunkte ein ähnlicher Gegensatz statt, wie er sich schon früher für die vertikalen Bahnkurven des Hüftgelenkmittelpunktes und Fußgelenkmittelpunktes herausgestellt hatte (vgl. Teil III, S. 135), und wie er auch aus Figur 8 deutlich zu erkennen ist. —

Rückblick.

Die zuerst von den Brüdern Weber aufgeworfene und von ihnen auch in bestimmtem Sinne beantwortete Frage, ob die Schwingungsbewegung des Beins beim menschlichen Gang als reine Pendelschwingung aufgefaßt werden muß oder nicht, konnte bis jetzt noch nicht definitiv in einwurfsfreier Weise entschieden werden. Wie in der Einleitung zu dieser Arbeit auseinandergesetzt wurde, ist diese Entscheidung nur auf der Grundlage einer sehr eingehenden und genauen Kenntnis der Bewegungen des Beins in der Periode des Schwingens zu treffen; denn man wird erst durch diese in den Stand gesetzt, in eindeutiger Weise die Kräfte abzuleiten, welche an dem Bein die Schwingungsbewegung hervorgebracht haben. Sobald man diese Kräfte der Art und Größe nach festgestellt hat, kann man dann ohne große Mühe beurteilen, ob sie allein der Anziehung der Erde oder außerdem der gleichzeitigen Kontraktion von Muskeln zuzuschreiben sind, und vermag im letzteren Falle auch zu entscheiden, mit welchen Drehungsmomenten die Muskeln auf die einzelnen Abschnitte des Beins eingewirkt haben.

Es bildete daher den Gegenstand des vorliegenden V. Teils der Untersuchung über den Gang des Menschen, die zur Bestimmung der Kräfte nötigen kinematischen Unterlagen für die Periode des Schwingens zu gewinnen.

Die Resultate einer derartigen kinematischen Analyse können nur dann allgemeine Gültigkeit beanspruchen, wenn sich nachweisen läßt, daß die verschiedensten Individuen bei der gleichen Gangart im wesentlichen die gleichen Bewegungsgesetze befolgen. Wenn dies auch mit wenigen Ausnahmen wohl die Überzeugung der Bewegungsphysiologen sein dürfte, so wird man doch dadurch nicht davon entbunden, es zu beweisen, um so mehr als sich tatsächlich Stimmen dagegen erhoben haben. Ein vollkommen exakter Beweis ließe sich nur so erbringen, daß man an zahl-

Digitized by Google

reichen Individuen die Gehbewegungen in derselben ausführlichen Weise analysierte, wie es bisher nur bei dem einen Individuum für drei Versuche ausgeführt worden ist. Solange eine derartige vergleichende Untersuchung nicht vorliegt, muß man sich damit begnügen, Gründe beizubringen, welche diese Übereinstimmung in den von verschiedenen Individuen befolgten Bewegungsgesetzen wenigstens sehr wahrscheinlich machen. Dies ist im I. Abschnitt der Arbeit geschehen. Es ist auf Grund von früheren Versuchen, die an mehr als 100 verschiedenen Individuen angestellt wurden, gezeigt worden, daß bei der in der Arbeit als „Wanderschritt" bezeichneten Lokomotionsart, welche unwillkürlich jeder annimmt, wenn er auf der Landstraße, ohne sich zu ermüden, große Strecken zurücklegen will, Größen wie die Schrittlänge, die Anzahl der Schritte in der Minute, die Ganggeschwindigkeit u. a., die sich ohne eingehende kinematische Analyse beobachten und messen lassen, unter Berücksichtigung der Körperlänge und Beinlänge im wesentlichen übereinstimmen. Es hat sich dabei auch gezeigt, daß die Schrittlänge und Schrittdauer unseres Individuums der gefundenen Norm des Wanderschrittes in jeder Beziehung entsprechen. Weiterhin hat die Vergleichung unserer chronophotographischen Aufnahmen mit den von Marey gewonnenen Serienbildern des gehenden Menschen ergeben, daß auch zwischen den successiven Stellungen der oberen und unteren Extremitäten des Mareyschen und unseres Individuums in den wesentlichsten Punkten Übereinstimmung stattfindet. Es ist daher in hohem Grade wahrscheinlich gemacht, daß beim Wanderschritt die Bewegungen einen durchaus typischen Charakter besitzen und an verschiedenen Individuen nur quantitative Unterschiede aufweisen können.

Nach diesem mehr einleitenden I. Abschnitt wurde nun im II. Abschnitt untersucht, auf welche Größen sich die kinematische Analyse der Schwingungsbewegung vor allen Dingen zu erstrecken habe, damit man auf Grund derselben die Untersuchung über die wirksamen Kräfte vornehmen könne. Es hat sich dabei herausgestellt, daß es für diesen Zweck ausreicht, außer den successiven Stellungen, welche das Bein während der Periode des Schwingens durchläuft, einerseits die Winkelbeschleunigungen zu messen, mit denen die Längsachsen der einzelnen Abschnitte des Beins ihre Richtung im Raume ändern, und andererseits die Komponenten der linearen Beschleunigungen abzuleiten, welche die Schwerpunkte

Digitized by Google

des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes im Verlauf der Schwingung besitzen. Die Methoden, nach denen diese Bestimmungen vorgenommen wurden, und die Endresultate derselben finden sich, soweit sie die Winkelbeschleunigungen betreffen, im III. Abschnitt, und sofern sie sich mit den Beschleunigungskomponenten der Schwerpunkte beschäftigen, im IV. Abschnitt beschrieben und durch entsprechende Diagramme veranschaulicht. —

Es wird nun den Gegenstand einer weiteren Untersuchung bilden müssen, auf der durch die vorliegende Arbeit geschaffenen kinematischen Grundlage die Kinetik der Schwingungsbewegung beim Gange des Menschen aufzubauen und dadurch neben zahlreichen anderen auch die vielumstrittene Frage nach der reinen Pendelschwingung definitiv zur Entscheidung zu bringen.

Digitized by Google

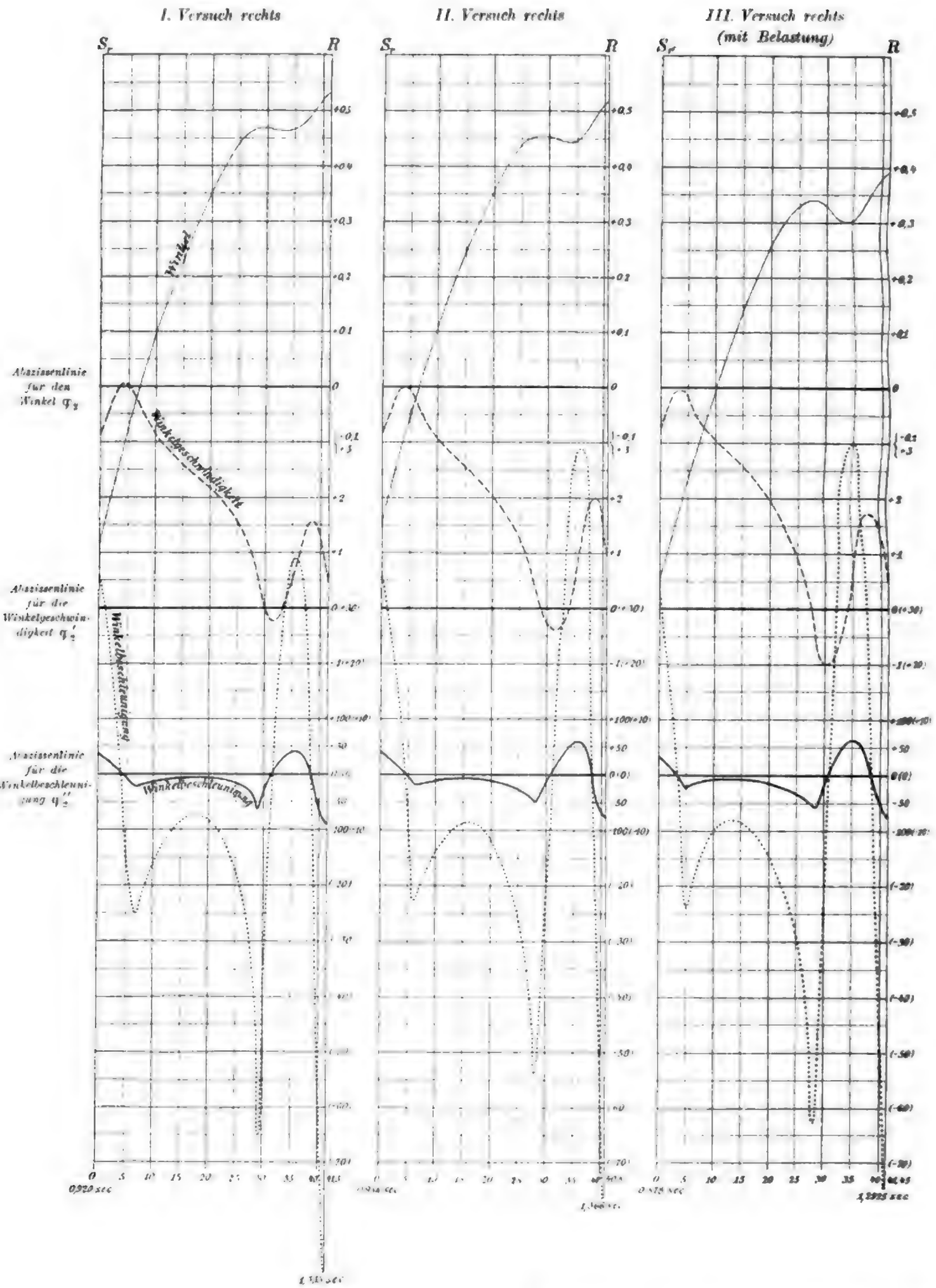
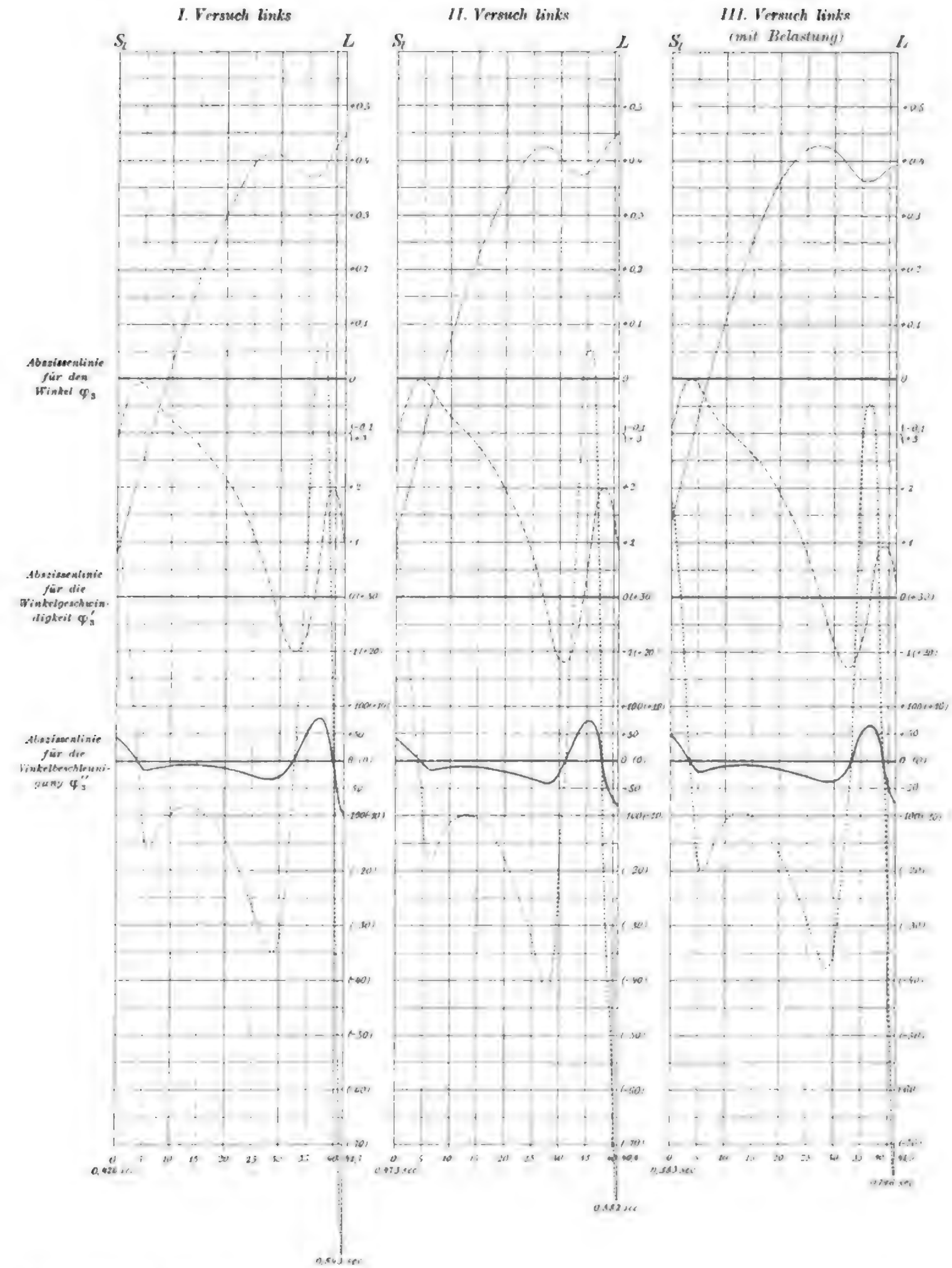


Diagramme für die Drehung des Obers



:els während der Periode des Schwingens.

Digitized by Google

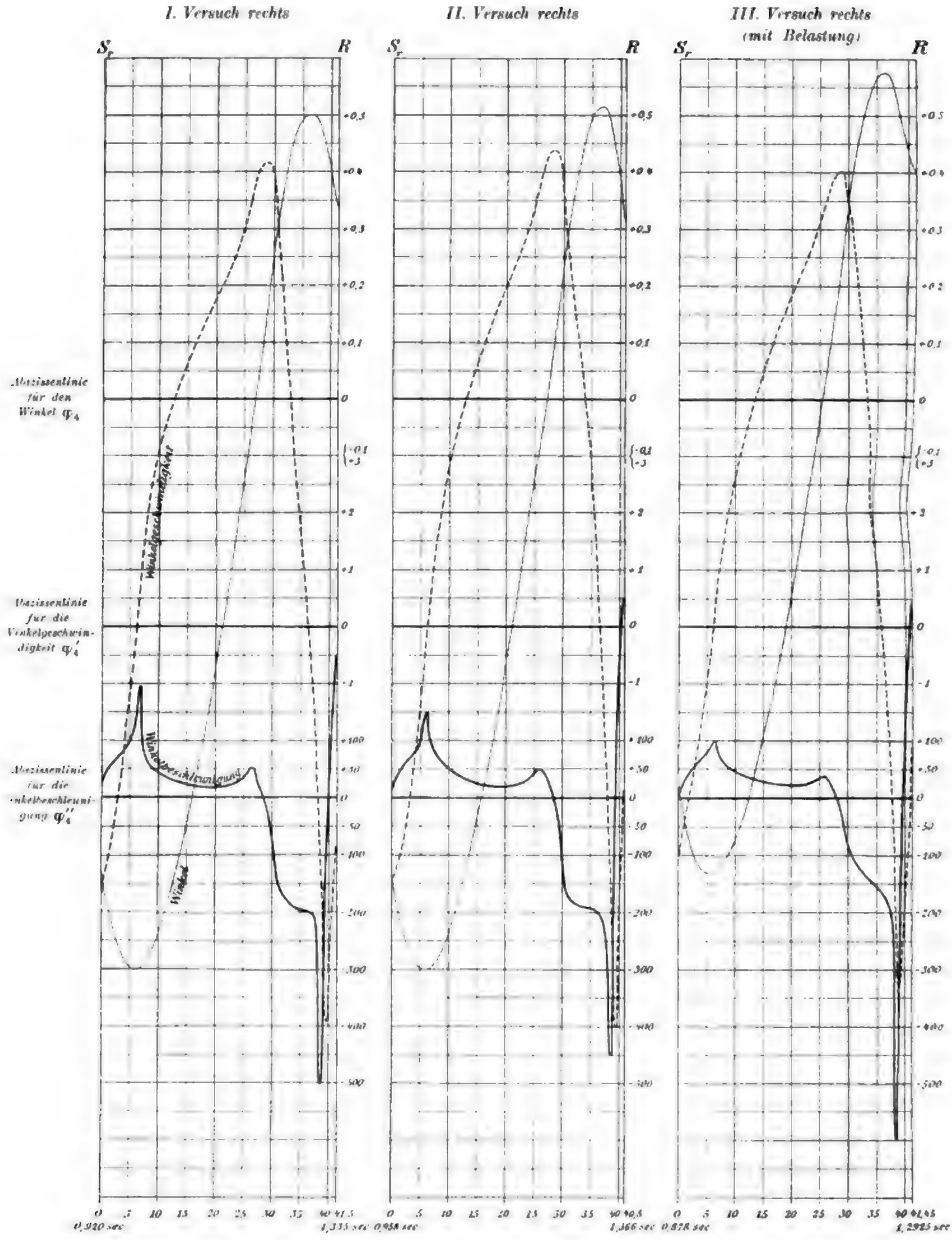
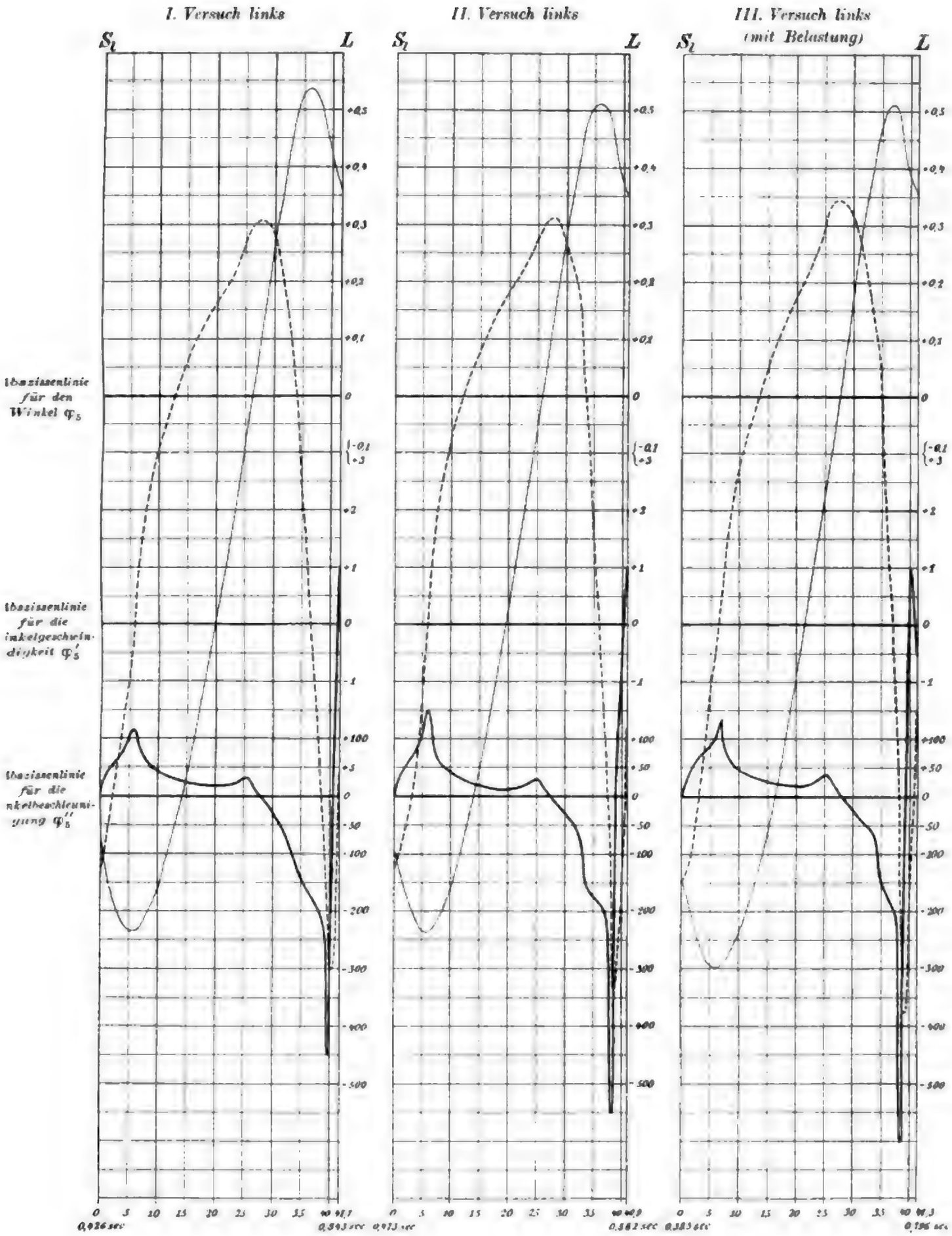


Diagramme für die Drehung des Unters

Digitized by Google



ls während der Periode des Schwingens.

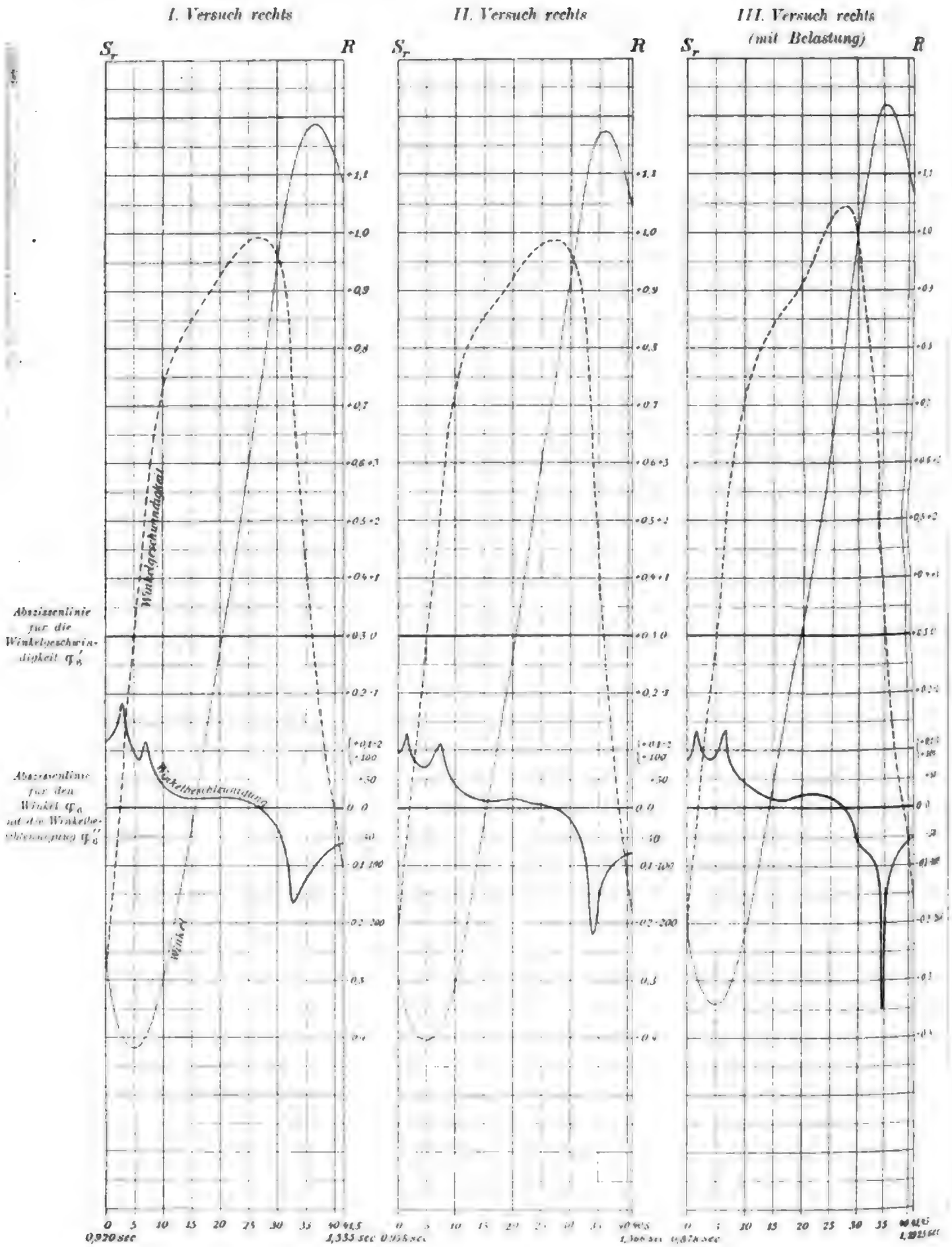
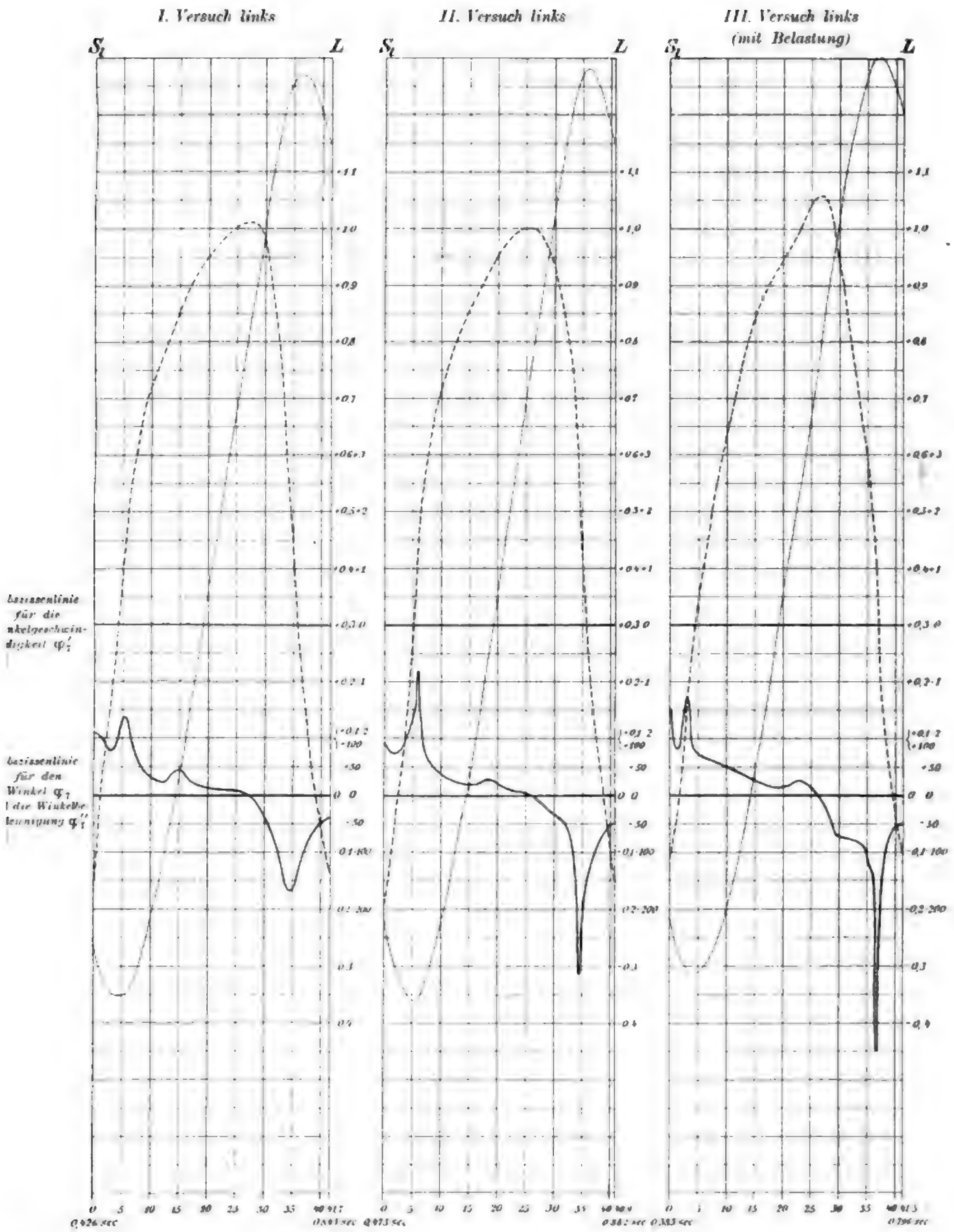


Diagramme für die Drehung des Fl

Digitized by Google



während der Periode des Schwingens.

Digitized by Google

Digitized by Google

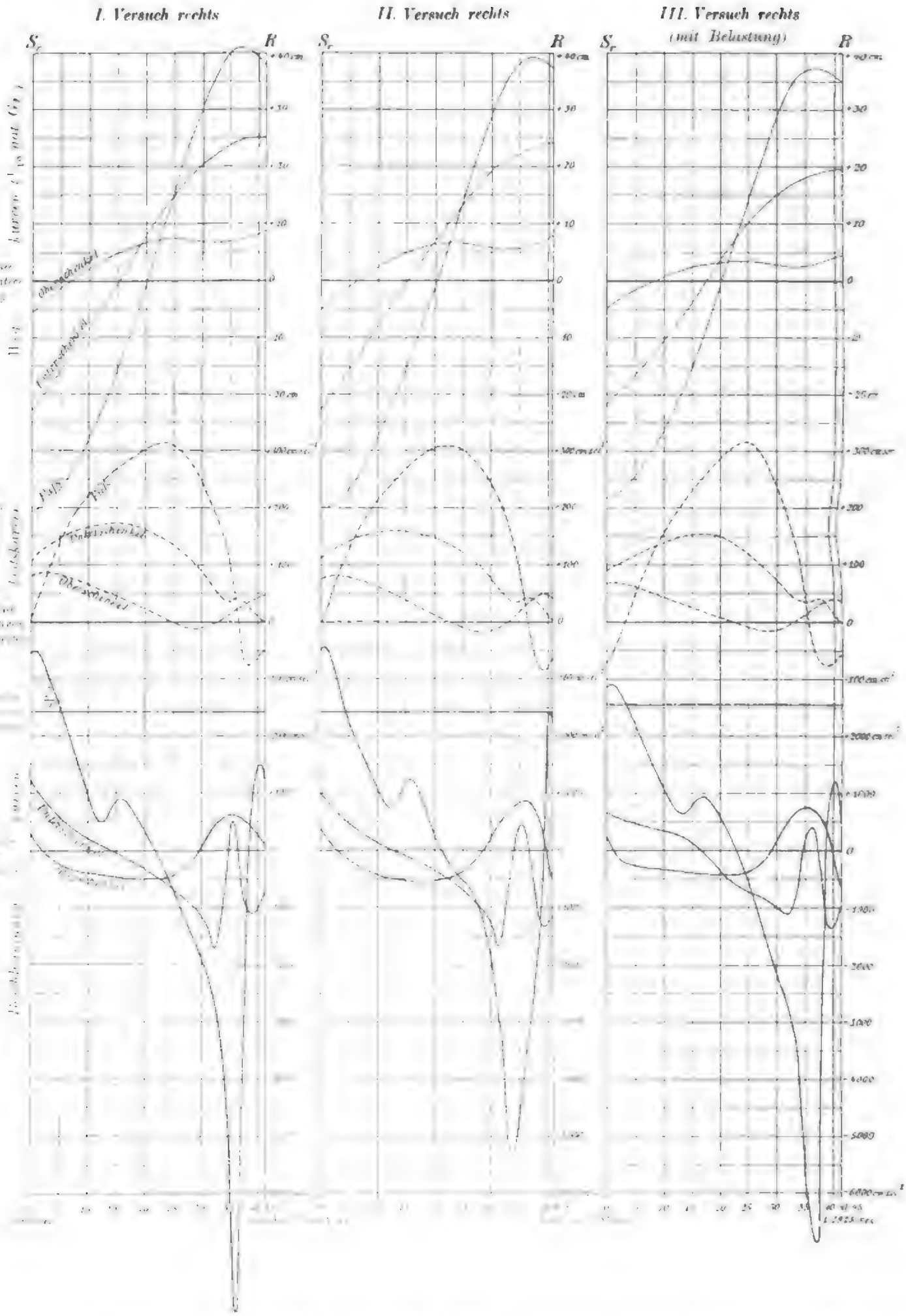
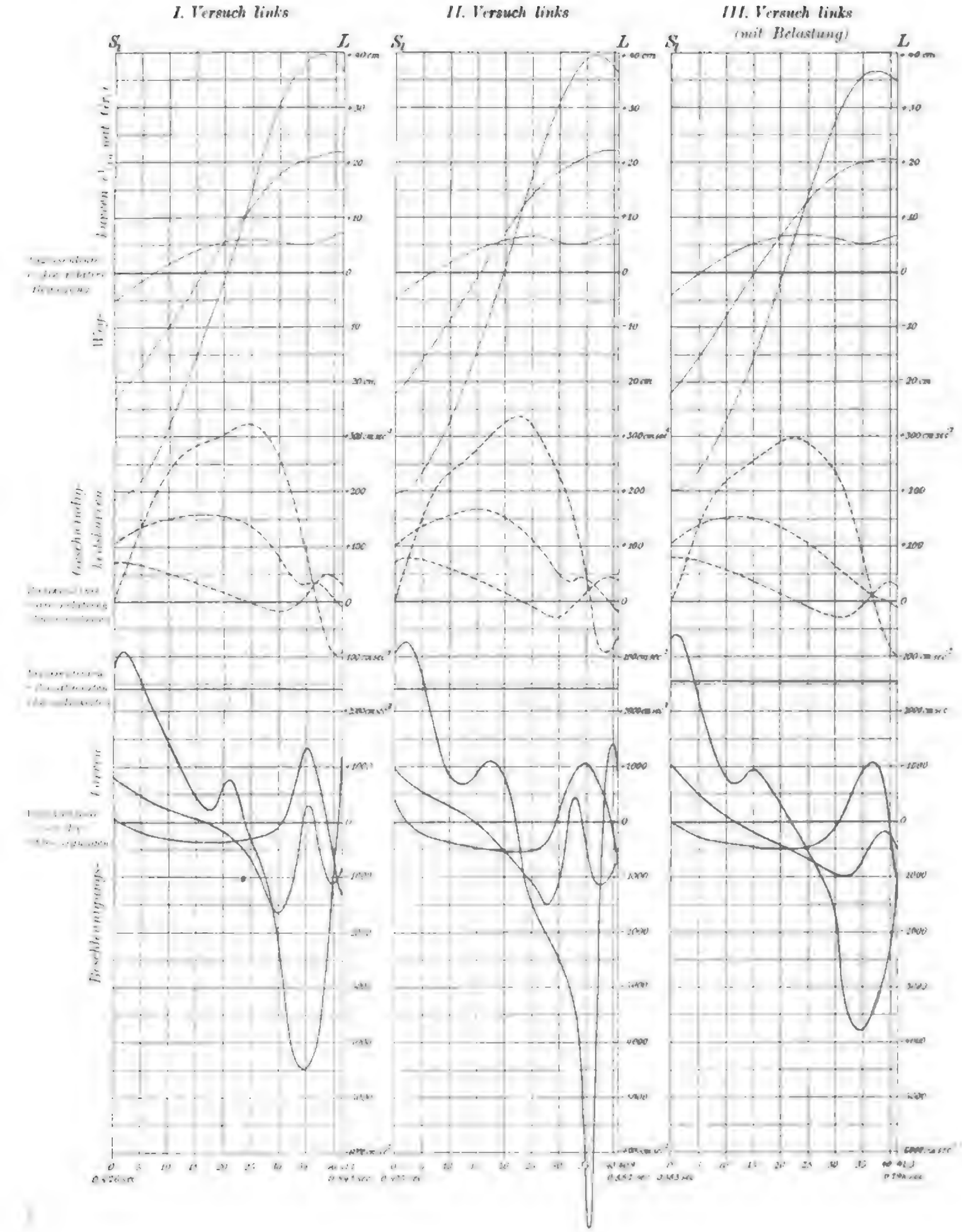


Diagramme für die Bewegung der Schwerpunkte des Oberschenkels, Unter

Digitized by Google



els und Fußes in der Gangrichtung während der Periode des Schwingens.

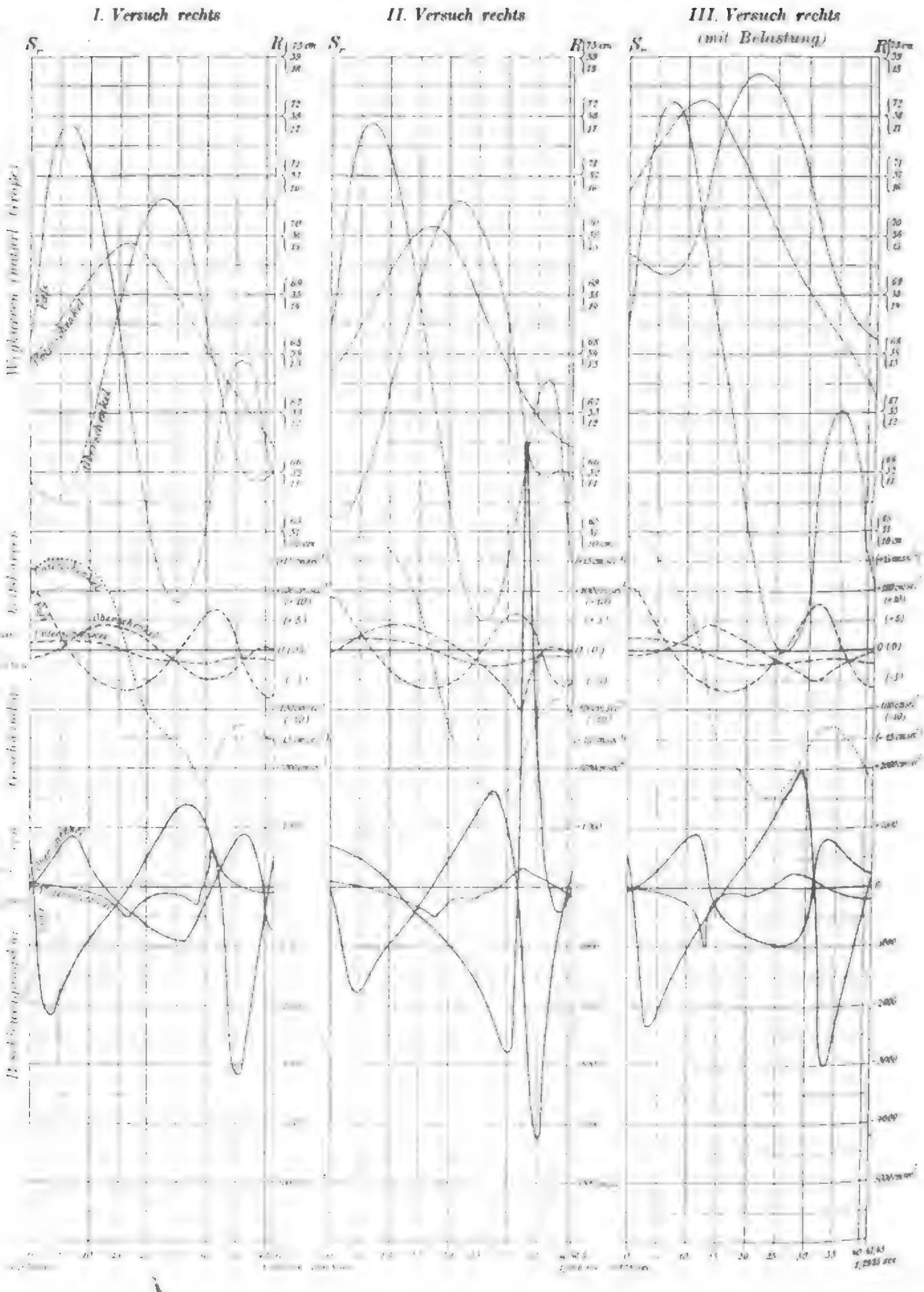
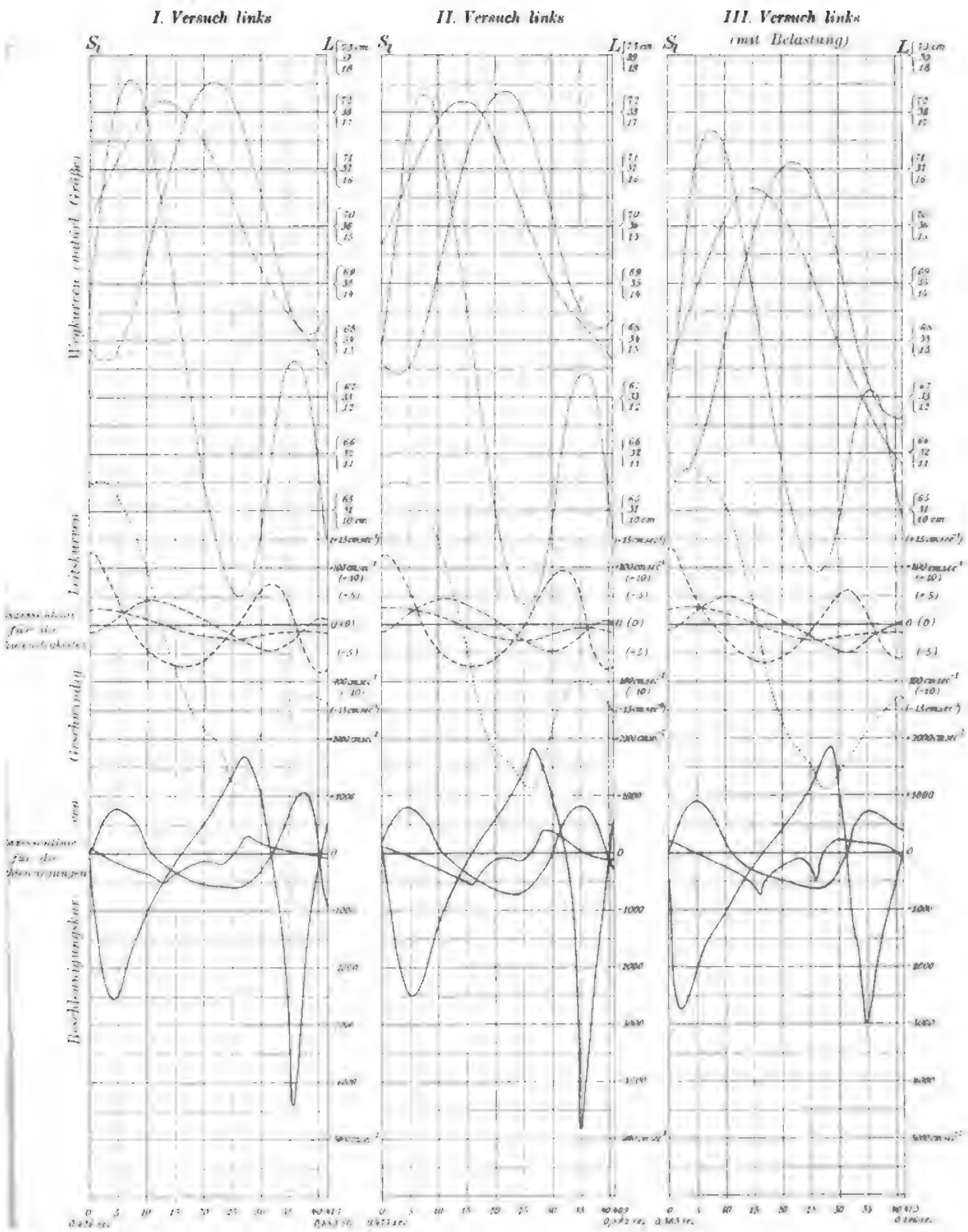


Diagramme für die Bewegung der Schwerpunkte des Oberschenkels, Unterschenk

Digitized by Google



und Fußes in der vertikalen Richtung während der Periode des Schwingens.

Digitized by Google

DER
VOGTLÄNDISCHE ERDBEBENSCHWARM
VOM 13. FEBRUAR BIS ZUM 18. MAI 1903
UND SEINE REGISTRIERUNG DURCH DAS WIECHERTSCHE PENDELSEISMOMETER IN LEIPZIG.

VON

HERMANN CREDNER.

Des XXVIII. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° VI.

MIT 26 SEISMOGRAMMEN ALS TEXTFIGUREN UND EINER KARTE.

LEIPZIG
BEI B. G. TEUBNER
1904.

Digitized by Google

Vorgetragen für die Abhandlungen am 1. August 1903.
Das Manuskript eingeliefert am 19. November 1903.
Der letzte Bogen druckfertig erklärt am 2. Januar 1904.

DER

VOGTLÄNDISCHE ERDBEBENSCHWARM

VOM 13. FEBRUAR BIS ZUM 18. MAI 1903

UND SEINE REGISTRIERUNG DURCH DAS WIECHERTSCHE PENDELSEISMOMETER IN LEIPZIG.

VON

HERMANN CREDNER.

Inhalt.

	Seite	
Einleitung	421	(3)
Die Seismogramme des Erdbebenschwarmes. Deren Charakteristik	424	(6)
Der vogtländische Erdbebenschwarm vom 13. Februar bis 18. Mai 1903	428	(10)
Die äußere mikroseismische Schütterzone, die in ihr registrierten Seismogramme und deren Vergleichung mit denen der Leipziger Erdbebenwarte.		
Ausdehnung der peripheren mikroseismischen Schütterzone	507	(89)
Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen	511	(93)
Progressive Verkleinerung der Bodenbewegung	513	(95)
Progressiv wachsende Dauer der Vorphase	513	(95)
Erdmagnetische Störungen	514	(96)
Übersichtliche Zusammenfassung.		
Charakteristik des Erdbebenschwarmes	516	(98)
Sein Epizentralgebiet	516	(98)
Die Schüttergebiete		
1. vogtländische	518	(100)
2. vogtländisch-erzgebirgische	519	(101)
3. vogtländisch-erzgebirgisch-bayerische	520	(102)
Allgemeiner Verlauf des Erdbebenschwarmes		
Beginn	521	(103)
Steigerung	521	(103)
Maximum	522	(104)
Abnahme	522	(104)
Allgemeine Ruhepause	523	(105)
Nochmalige Belebung	523	(105)
Erlöschen	523	(105)
Die Seismogramme und deren gesetzmäßige Ausbildungsform	523	(105)
Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen	525	(107)
Tabellarische Zusammenstellung der von Wiecherts astatischem Pendelseismometer zu Leipzig registrierten Erdstöße des vogtländischen Erdbebenschwarmes im Februar bis Mai 1903	527	(109)
Erklärung der Karte auf Tafel I	529	(111)

Digitized by Google

Erdbebenschwärme von z. T. monatlanger Dauer sind im vogtländischen Schüttergebiete im Vergleiche mit anderen Gegenden verhältnismäßig häufige seismische Ereignisse, haben sich doch im Laufe der letztverflossenen 6 Jahre deren nicht weniger als 4[1]) und zwar zu folgenden Zeiten abgespielt:

1897 vom 24. Oktober bis zum 29. November, Dauer 37 Tage,
1900 vom 1. Juli bis zum 21. August, Dauer 52 Tage (mit einer makroseismischen Ruhepause von 7 Tagen),
1901 vom 8. Mai bis zum 28. Juni, Dauer 53 Tage (mit einer Unterbrechung von 8 Tagen),
1901 vom 25. Juli bis zum 31. August, Dauer 38 Tage (jedoch mit einigen mehrtägigen Ruhepausen).

An diese Reihe schließt sich neuerdings der Erdbebenschwarm in den Monaten Februar bis Mai des Jahres 1903, der in seiner kaum unterbrochenen Dauer und in der Energie seiner Hauptstöße sämtliche Vorgänger hinter sich läßt. Derselbe hub am 13. Februar mit schwachen Lokalstößen an, erreichte das Maximum seiner Kraftentfaltung im Anfang März, setzte sich in Form etwas schwächerer und viel zahlreicherer schwacher Stöße durch diesen Monat und den April fort, um dann, nachdem seine Energie im Anfang Mai noch einmal aufgeflackert war, Mitte Mai auszutönen und nach 95tägiger Dauer der alten seismischen Ruhe Platz zu machen.

Die dem Verfolg dieses imposanten Erdbebenschwarmes gewidmeten Studien mußten eine zwiefache Richtung einhalten und bezogen sich einerseits auf die Feststellung der makroseismischen Erscheinungen, also der Zahl, des Zeitpunktes, der Schütterwirkung,

---

1) H. Credner, diese Abhandl. Leipzig XXIV. No. IV 1898. Berichte d. math.-phys. Klasse d. Kgl. S. Ges. d. Wiss. 1900, S. 153. — 1902, S. 74.

Digitized by Google

des Stärkegrades und des Schüttergebietes jener Hunderte von Stößen, aus denen sich der neueste Erdbebenschwarm zusammensetzte, — andererseits auf die Ausnutzung der Seismogramme, welche das WIECHERTsche Pendelseismometer der Leipziger Erdbebenstation von allen stärkeren dieser Stöße geliefert hatte. Dieselben wurden zunächst dazu verwandt, um zur Korrigierung der aus dem vogtländisch-erzgebirgischen Schüttergebiete eingelaufenen, meist wenig genauen Zeitbestimmungen zu dienen und dadurch zugleich die Zusammengehörigkeit zahlreicher, in ihren Zeitangaben nicht ganz übereinstimmender Einzelmeldungen mit ganz bestimmten stärkeren Stößen festzulegen, kurz um die Zeitskala für die Ereignisse des Erdbebenschwarmes zu bilden.

Bei der für erstgenannten Zweck erforderlichen systematischen Beschaffung eines außerordentlich reichen makroseismischen Beobachtungsmateriales haben sich die interessevoll ihres Ehrenamtes waltenden Herren Referenten der sächsischen Erdbebenkommission innerhalb der von den Erschütterungen betroffenen Gebiete von neuem in vollstem Maße bewährt und durch ihre sich über 3 Monate erstreckende Berichterstattung hauptsächlich jenes gewaltige Material geliefert, welches der folgenden Darstellung zugrunde liegt. Diese Mitarbeiterschaft verteilt sich auf nachstehende Herren: Schuldirektor ALBERTI in Asch, — Stadtarzt Dr. med. BÄUML in Graslitz, — Professor Dr. BECK in Freiberg, — Professor BERTHOLD in Schneeberg, — Oberlehrer Dr. DANZIG in Rochlitz, — Oberlehrer ENGLERT in Untersachsenberg, — Lehrer FRANK in Olbernhau, — Oberlehrer Dr. FRICKER in Döbeln, — Redakteur Dr. FRISCH in Zwickau, — Gerichtsarzt Dr. med. FUCHS in Bleistadt, — Realschuldirektor Professor Dr. GUMPRECHT in Glauchau, — Professor Dr. HIBSCH in Tetschen, — Bürgerschullehrer KAISER in Adorf, — Kgl. Oberförster KEMPE in Reitzenhain, — Professor Dr. KÖPPNER in Komotau, — Apotheker KLINGNER in Bad Elster, — Kgl. Oberförster LEDIG in Oberwiesenthal, — H. LEONHARDT in Schönberg a. Kap., — Professor Dr. LUDWIG in Greiz, — Bergverwalter MORGENSTERN in Zinnwald, — C. ÖHLERT in Lengenfeld, — Oberlehrer Dr. RASCHKE in Annaberg, — Postverwalter RENZ in Brambach, — Oberlehrer REINHOLD in Falkenstein, — Dr. A. SCHMIDT in Wunsiedel, — Realschuloberlehrer SCHMIDT in Ölsnitz, — Dr. M. SCHRÖDER in Gera, — Bürgerschullehrer SIEBER in Schöneck, — Professor SIEGERT in Dresden, — Seminar-

Digitized by Google

oberlehrer Dr. Simon in Auerbach, — Professor Dr. Sterzel in Chemnitz, — Bürgerschullehrer Strödel in Reichenbach, — Lehrer Titel in Johanngeorgenstadt, — Lehrer Trenkler in Weißbach, — Oberlehrer Vogel in Markneukirchen, — Professor Weise in Plauen, — Kirchschullehrer Werner in Schönberg a. Kap., — Bürgermeister Wiedermann in Franzensbad, — Oberlehrer Wölfel in Roßbach, — Seminaroberlehrer Wolff in Pirna.

Außer diesen offiziellen Referenten und den von ihnen herangezogenen Berichterstattern beteiligten sich, angeregt durch die in den Zeitungen veröffentlichten Aufrufe und Fragebogen sehr zahlreiche andere Bewohner Sachsens in zuvorkommendster Weise an der Beisteuer von Beobachtungsmaterial. Leider ist es mit der Form unserer möglichst kurz gehaltenen Darstellung nicht vereinbar, die Namen aller derer aufzuführen, welche sich durch ihre Beiträge um letztere verdient gemacht haben. Auch die oben genannten Herren Referenten werden in unserer Abhandlung bei weitem nicht jeden ihrer Berichte als Einzelmitteilung wiederfinden, vielmehr wahrnehmen, daß versucht werden mußte, dieselben zu übersichtlichen Gesamtbildern von z. B. der Art und dem Grade der Schütterwirkungen, sowie der Ausdehnung der Schüttergebiete einheitlich miteinander zu verschmelzen.

Sehr groß war ferner die Zahl der telegraphischen Meldungen von Erdbebenstößen, welche von Stationen der Königl. Sächsischen Staatseisenbahnen in Verfolg einer von seiten der Königl. Generaldirektion in Dresden erneuten Verordnung einliefen und sich besonders durch ihre tunlichst genauen Zeitangaben wertvoll erwiesen. Letzterer Vorteil wog umso schwerer, als sich diese oft mehrere Stöße zeitlich fixierenden Depeschen im Verlaufe des Erdbebenschwarmes bis zu 220 summierten.

Ferner hatte das Königl. meteorologische Institut zu Chemnitz die Zuvorkommenheit, die bei demselben eingegangenen Erdbebennachrichten uns zu übermitteln.

Eine Fülle von Beobachtungen lieferten endlich die heimischen Zeitungen und unter diesen in erster Linie der Vogtländische Anzeiger und Tageblatt in Plauen, dessen Spalten sich während des ganzen Zeitraumes dieses neuesten Erdbebenschwarmes wiederum mit Berichten über denselben füllten, sodaß diesem Blatte der alte Ruhm eines „Sammelorganes für die Berichte über heimatliche seismische Ereignisse“ erhalten geblieben ist.

Digitized by Google

Nach früherem Gebrauche fand auch diesmal zwischen dem Referenten der Erdbebenkommission der K. K. Akademie der Wissenschaften zu Wien, Herrn Stadtgeologen KNETT in Karlsbad und dem Verfasser ein Austausch gewisser ihrer Resultate statt, der sich jedoch diesmal ausschließlich auf die gegenseitige Mitteilung des ungefähren Verlaufes der Schüttergrenzen innerhalb Böhmens und Sachsens beschränkte.

Wie bei dem Böhmerwald-Beben im November 1902, so fand ich auch diesmal durch Herrn Dr. med. BRUNHUBER in Regensburg bei der Feststellung und Begrenzung des bayerischen Anteiles an dem Schüttergebiete der Hauptstöße des neuesten Erdbebenschwarmes eine sehr wohlwollende und höchst wertvolle Förderung.

Sehr willkommene Mitteilungen über die Ausdehnung der Erschütterungen des 5. und 6. März in den Thüringischen Staaten verdanke ich Herrn Königl. Landesgeolog Dr. ZIMMERMANN in Berlin und Herrn Oberlehrer Dr. HENKEL in Schulpforta.

Gegenüber allen diesen Herren Berichterstattern, Helfern und Förderern, auf deren Beobachtungsmaterialien mein eignes Unternehmen sich überhaupt erst aufbaut, sei die dankbarste Anerkennung ihres Anteiles an letzterem nochmals zum Ausdruck gebracht.

Gleicher Dank gebührt Herrn Dr. FRZ. ETZOLD, dem Observator unserer Bebenwarte, für die wertvollen Dienste, welche er mir bei Ausnutzung der seismogrammatischen Aufzeichnungen geleistet hat. Auch sämtliche den folgenden Text illustrierende Wiedergaben der letzteren in 5facher Vergrößerung der Originalseismogramme, also in 1250facher Vergrößerung der wirklichen Bodenbewegung sind von ihm auf photographischem Wege hergestellt und die Schemata der einzelnen Seismogrammtypen auf Seite 426 konstruiert worden.

Die Seismogramme des Erdbebenschwarmes.

(Hierzu Fig. 1 bis 3[b]).

Von den vom südvogtländischen Erdbebenherde ausgegangenen Stößen ist die Gesamtheit derer vom Stärkegrade 4—5 an durch das WIECHERTsche Pendelseismometer der Leipziger Station

zur Registrierung gelangt. Bei gegenseitigem Vergleiche dieser 44 Seismogramme ergeben sich die auffallendsten Steigerungen in deren Form, Gliederung und Dauer, wonach sie sich leicht auf 3 Haupttypen zurückführen lassen, die aber sachgemäß verbindende Übergänge aufweisen. Gleichzeitig offenbart sich bei Vergleichung dieser Seismogramme mit der Gesamtheit der jedesmal zeitlich entsprechenden makroseismischen Erscheinungen im vogtländischen Schüttergebiete die Tatsache, daß die Ausbildungsweise der ersteren in strenger Abhängigkeit von dem Stärkegrade der im Vogtlande erfolgten und von dort ausgegangenen Stöße steht, daß sich demnach letzterer in der Art der Seismogramme deutlich wiederspiegelt.

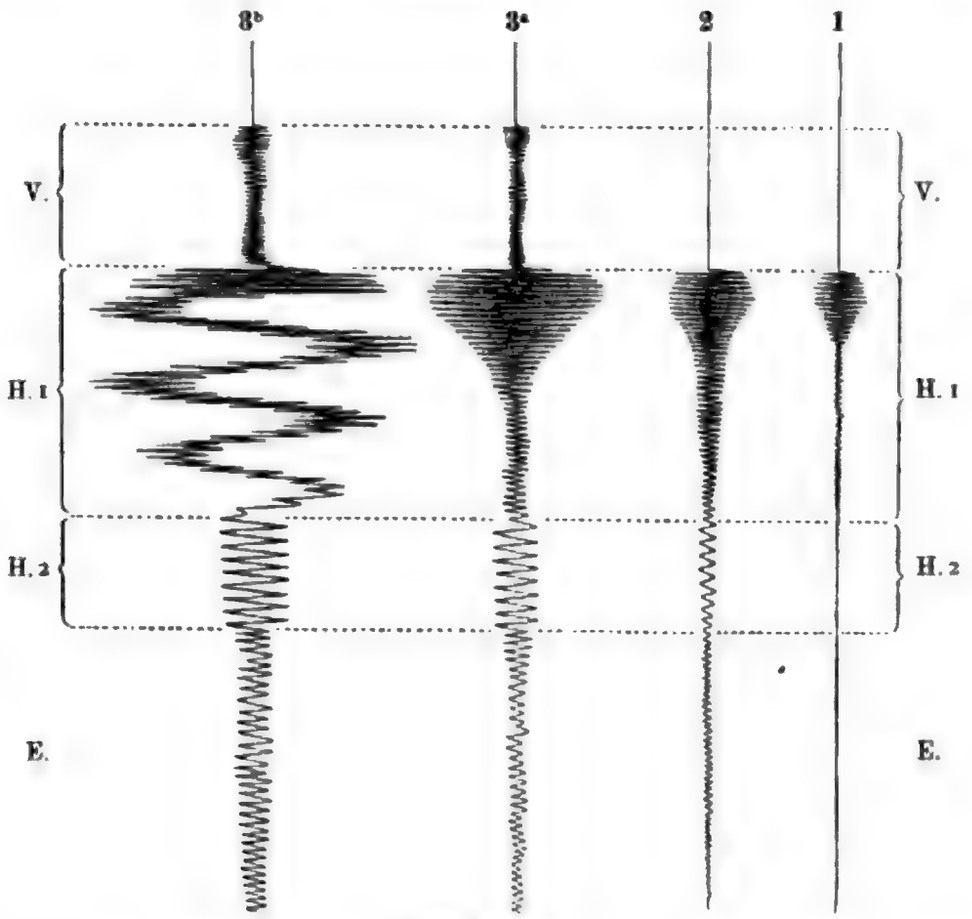
Die 3 Typen der Leipziger Seismogramme der 44 stärkeren und stärksten Stöße des diesjährigen Erdbebenschwarmes lassen sich wie folgt charakterisieren:

Typus 3: Seismogramme der stärksten Stöße (Stärkegrad 6 bis 7). Figur 3a. Dieselben setzen sich zusammen: 1) aus einer Vorphase mit mehr oder weniger scharfem ersten Einsatz; 2) aus einer Hauptphase, diese in ihrem ersten Abschnitte mit den stärksten Schwingungen von jedoch nur so kurzen Perioden, daß sich die Ausschläge seitlich decken und nur deren Spitzen aus der kompakten Gruppe von Aufzeichnungen hervorragen; im zweiten Abschnitte mit Ausschlägen von geringerer Amplitude aber längeren Perioden und infolgedessen offen und meßbar. Dieser langperiodige Teil der Hauptphase besteht aus im Mittel 8 Schwingungen von etwa 1,5 Sekunden Periode. Beachtenswert ist die Konstanz der Dauer der Phasen bei allen in diese Gruppe gehörigen Seismogrammen des Erdbebenschwarmes. Dieselbe beträgt bei der Vorphase 13,2 bis 13,8 Sekunden, nur je einmal 12,6 und 11 Sekunden, — bei der Hauptphase 32 bis 35 im Mittel 33 Sekunden. Diese Übereinstimmung beruht darauf, daß alle diese Beben von ungefähr dem nämlichen vogtländischen Herde ausgegangen sind, während die kleinen Schwankungen vorzüglich in der Länge der Vorphase darauf hindeuten, daß sich die Zentren der einzelnen Erbebungen um etwas gegeneinander verschoben haben. Durch rasche Verkleinerung der Schwingungen des zweiten Teiles der Hauptphase setzt sich derselbe meist deutlich von 3) der allmählich auslaufenden Endphase ab.

Digitized by Google

Als Beispiele für Seismogramme vom Typus 3ª mögen Fig. 14, S. 457, Fig. 22, S. 481 und Fig. 24, S. 488 dienen.

Die Reinheit dieser Aufzeichnung kann dadurch gestört werden, daß das Pendel des Seismometers durch die ersten stärksten seismischen Bewegungen in langperiodige Eigenschwingungen versetzt wird, welche die seismischen Ausschläge zu hohen, beider-



Figur 1 bis 3ᵇ

Schemata der 3 Typen von Seismogrammen der 44 Hauptstöße des vogtländischen Erdbebenschwarmes vom 13. Februar bis 18. Mai 1903.

Fig. 1 = Typus 1, — Fig. 2 = Typus 2, — Fig. 3ª = Typus 3, — Fig. 3ᵇ = Typus 3, Verzerrung der seismischen Ausschläge durch langperiodige Eigenschwingungen des Pendels.

V = Vorphase, — H. = Hauptphase, — H 1 = erster Abschnitt der Hauptphase mit kurzperiodigen Ausschlägen, — H. 2 = zweiter Abschnitt der Hauptphase mit langperiodigen Ausschlägen, — E = Endphase.

seits gezähnelten Zickzacklinien verzerren (siehe Fig. 3ᵇ). Diese Störungen verschwinden entweder schon nach dem ersten, kurzperiodigen Teile der Hauptphase oder erstrecken sich auch noch auf deren langperiodigen zweiten Abschnitt. Eine derartige das seismische Bild entstellende Kombination beider Schwingungsarten stellt sich namentlich bei den Aufzeichnungen der N-S-Komponente ein, weil deren Dämpfungsapparat bei dem Leipziger Seis-

Digitized by Google

mometer nicht so energisch wirkt, wie derjenige der O-W-Komponente. Infolgedessen sind die Seismogramme der letzteren weniger durch die Eigenschwingungen des Pendels beeinflußt, als bei der ersteren. Beispiele: Fig. 16, S. 469, Fig. 17, S. 470, Fig. 18, S. 471, Fig. 21, S. 478, Fig. 23, S. 488.

Typus 2: Seismogramme der Stöße von mittlerem Stärkegrade (Figur 2). Die Erdwellen, welche beim Typus 3 den ersten Einsatz und die Ausschläge der Vorphase der Seismogramme hervorbringen, machen sich nicht oder nur schwach bemerklich, so daß letztere direkt mit den größten, kurzperiodigen Ausschlägen der Hauptphase beginnen, um dann, wie beim Typus 3 in einen zweiten Abschnitt langperiodiger, also offener Schwingungen und durch diese allmählich in die Endphase überzugehen. Beispiele: Fig. 6 u. 7, S. 438, Fig. 8 u. 9, S. 441, Fig. 10 u. 11, S. 443.

Typus 1: Seismogramme der schwächeren Stöße. Es fehlt die Aufzeichnung der Vorphase und des zweiten Abschnittes der Hauptphase, sowie einer deutlichen Endphase, sodaß das Seismogramm nur noch aus den eng zusammengedrängten kurzperiodigen Ausschlägen des ersten Abschnittes der Hauptphase besteht und die Form einer knopf-, spindel- oder kurz bandartigen, gezähnelten Verdickung der Tageslinie aufweist (vergl. Fig. 1, S. 426, ferner Fig. 12 u. 13, S. 445). Auch bei Seismogrammen vom Typus 1 und 2 können sich Komplikationen durch das Eingreifen von Wellen mit abweichender Periode störend bemerklich machen.

Vom Schreibapparat unseres WIECHERTschen Seismometers werden die Horizontalkomponenten der durch die verschiedengradigen vogtländischen Stöße in Leipzig erzeugten Bodenbewegungen in 250facher Vergrößerung registriert. Um an den so erzielten Seismogrammen genaue Messungen zu ermöglichen, sind dieselben auf direktem photographischen Wege nochmals um das 5fache, also im ganzen um das 1250fache der wirklichen Bodenbewegung vergrößert worden.

Die Unterbrechungen, die sich innerhalb der seismogrammatischen Linie aller in der folgenden Abhandlung reproduzierten Erdbebenbilder wiederholen, dienen zur Markierung der Zeit und zwar der Minuten durch 2, der Stunden durch 15 Sekunden lange Unterbrechungen von Seiten der mit dem Seismometer verbundenen Uhr. Die so erhaltenen Zeitangaben sind dann in mittel-

Digitized by Google

europäische Zeit umgerechnet worden. Zu letzterem Zwecke wird von Dr. ERZOLD alle 3—4 Tage der Stand der Seismometeruhr mit dem der FRAUNHOFERschen Normaluhr in der Universitäts-Sternwarte verglichen, wo ihm zugleich die Korrektur dieser Normaluhr auf M. E. Z. angegeben wird.

Der vogtländische Erdbebenschwarm vom 13. Februar bis 18. Mai 1903.

Dieser mehr als dreizehnwöchige Erdbebenschwarm, welcher mit seinen stärksten Stößen die Bewohner des Vogtlandes, Egerlandes und anstoßender Landstriche in Furcht und Schrecken setzen und von hier aus einen größeren Teil Mitteldeutschlands und des angrenzenden Böhmens in Mitleidenschaft ziehen sollte, hebt nicht unvermittelt mit einem die Ruhe plötzlich unterbrechenden heftigen Stoße an, sondern beginnt mit einer weitläufigen Reihe schwacher, ganz lokaler, aber fast stets mit unterirdischen Detonationen verbundener Erschütterungen innerhalb der alten chronischen Epizentralzone Graslitz-Markneukirchen-Brambach-Asch im südlichen Vogtlande (vgl. Tafel I; 1). Zunächst ist es der Schütterrayon von Graslitz, welcher sich zu beleben anfängt:

13. Februar.

21^h in Eibenberg nördlich von Graslitz und
$21^h\ 50^m$ in Graslitz je ein schwacher Stoß.

14. Februar.

4^h schwacher Stoß und
$5^h\ 30^m$ zwei etwas stärkere, rasch aufeinander folgende Stöße in Graslitz und Eibenberg;
$9^h\ 2^m$ und
15^h schwächere Stöße in Graslitz.

Digitized by Google

15. Februar.

$10^h\ 30^m$ schwacher Stoß in Graslitz.

Außer in der Graslitzer Gegend hebt jetzt die seismische Tätigkeit auch im südwestlichen Teile der Epizentralzone an:

$21^h\ 15^m$ schwacher Stoß in Bad Elster.

16. Februar.

Die seismische Tätigkeit konzentriert sich auf einen Stoß oder auf eine Stoßgruppe, welche die Gesamtheit des Epizentralgebietes in Erschütterung versetzen und sich auch auf die ihm naheliegenden Landstriche mehr oder weniger kräftig ausdehnen:

$22^h\ 2^m$ in Graslitz 3 stärkere Stöße, in Eibenberg, Frankenhammer und Bleistadt ziemlich kräftige Erschütterung, in Kottenhaide, Grünbach und Schöneck stärkerer, in Markneukirchen schwächerer Stoß, in Brambach 3 stärkere, rasch aufeinander folgende Stöße, in Fleißen (östlich von Brambach) Erschütterung. In dem ziemlich weit nach Norden vorgeschobenen Orte Lengenfeld wird unterirdisches Donnerrollen wahrgenommen, welches, während mehrerer Sekunden heranziehend, die Fenster leise klirren macht und dann langsam wieder verhallt.

Leipzig wird von den mikroseismischen Wellen nicht erreicht, — das dort aufgestellte Seismometer wird nicht beeinflußt.

$22^h\ 10^m$ schwacher Stoß in Brambach.

17. Februar.

An diesem und dem folgenden Tage beschränken sich die Erschütterungen wiederum ausschließlich auf Graslitz:

22^h und

$22^h\ 15^m$ schwache Stöße in Graslitz.

18. Februar.

10^h etwas stärkerer Stoß in Graslitz.

19. Februar.

Mehrfach wird die Epizentralzone in ihrer ganzen Ausdehnung oder zu ihrem größeren Teile in Erschütterung versetzt.

Digitized by Google

1h 30m schwächerer Stoß in Graslitz,
8h 44m in Brambach, Rohrbach und Fleißen ein schwacher, unmittelbar darauf ein stärkerer Stoß, in Markneukirchen und Kottenhaide ein ziemlich starker Stoß, in Graslitz und Untersachsenberg ein schwacher Stoß.
15h 30m erfolgen mehr oder weniger heftige Erschütterungen innerhalb des gesamten Epizentralgebietes und zwar in Brambach, Rohrbach, Fleißen, Landwüst, Markneukirchen, Klingenthal, Untersachsenberg, Graslitz, Schönau und Frankenhammer.
18h 55m schwacher Stoß in Brambach und Rohrbach.

In der Nacht vom 19. zum 20. Februar erfolgen in Graslitz viele so schwache Stöße, daß sie nur bei aufmerksamer Beobachtung wahrgenommen werden, in Falkenstein hingegen mehrere etwas stärkere Stöße.

20. Februar.

Lokalstöße wiederholen sich in ziemlich großer Zahl innerhalb des Epizentralgebietes, erreichen den Stärkegrad 3—4 und machen sich z. T. auch in einzelnen Orten der Nachbarschaft fühlbar. Die beiden Zentren Graslitz und Brambach treten abwechselnd, niemals gemeinsam in Tätigkeit.

0h in Tirpersdorf östlich von Ölsnitz schwacher Stoß,
0h 20m desgleichen in Fleißen.
0h 30m in Untersachsenberg ziemlich starker Stoß.
2h in Kottenhaide kräftiger Stoß.
5h in Kottenhaide ziemlich kräftiger, in Falkenstein schwacher Stoß.
6h 40m in Graslitz und
7h in Untersachsenberg je ein schwacher Stoß.
7h 20m in Brambach und Rohrbach ein stärkerer Stoß.
8h 23m in Krondorf bei Neukirchen (östlich von Brambach-Fleißen) Erschütterung.
10h 25m in Brambach und Rohrbach und
12h 20m ebenfalls in Brambach und Rohrbach sowie in Landwüst ein ziemlich starker Stoß, in Krondorf bei Neukirchen Erschütterung.
12h 25m schwacher Stoß in Graslitz.

Digitized by Google

$15^h\,45^m$ in Graslitz, Krondorf und Erlbach (östlich von Markneukirchen) schwächere Stöße. Ebenso
$16^h\,50^m$ und
$18^h\,30^m$ in Graslitz.
$21^h\,5^m$ in Graslitz, Krondorf, Klingenthal, Grünbach schwache Stöße.
$22^h\,3^m$ in Asch und Markneukirchen ziemlich kräftiger Stoß.

21. Februar.

Einzelne schwache Erschütterungen innerhalb des Epizentralgebietes verteilen sich auf den ganzen Tag, bis sie abends $22^h\,9^m$ von einem sehr heftigen Stoße abgelöst werden, auf welchen bis Mitternacht und auch am nächsten Tage wiederum unbedeutendere Lokalstöße folgen.

Zunächst werden schwache Stöße gemeldet:
$2^h\,30^m$ aus Markneukirchen,
$3^h\,33^m$ aus Fleißen,
4^h aus Markneukirchen,
5^h aus Fleißen,
6^h aus Klingenthal,
$6^h\,12^m$,
$10^h\,25^m$ und
$18^h\,12^m$ aus Graslitz,
$19^h\,20^m$ aus Frankenhammer, Graslitz, Eibenberg, Untersachsenberg, Brambach und Asch.
$20^h\,50^m$ aus Graslitz.

$22^h\,9^m$ erfolgt der erste Hauptstoß des Erdbebenschwarmes und zwar in der Epizentralzone des letzteren, die sich aber wie bei früheren Beben und auch im ferneren Verlaufe der diesmaligen Erdbebenperiode in südwestlicher Richtung bis nach Asch verlängert. Dieser Stoß erstreckt seine Schütterwirkung über das gesamte Vogtland und das Egerland, im Norden über Lengenfeld bis Greiz, im Süden über Bleistadt, Wildstein und Eger bis in die Gegend von Sandau am Kaiserwald sowie im Osten und Westen auf angrenzende Gebiete des Erzgebirges (bis jenseits Neudeck) und Oberfrankens (bis Hof, Schwarzenbach a. S. und Kirchenlamitz). Zur Illustration des Stärkegrades dieses Stoßes innerhalb der Epizentralzone mögen folgende Beispiele und kurze Auszüge aus den reichlich vorliegenden Berichten dienen.

Digitized by Google

In Asch erfolgt ein kurzer, sehr heftiger Vertikalstoß, die erschreckten Bewohner machen Licht, viele eilen entsetzt auf die Straße; Häuser knarren und prasseln in ihren Fugen; Fenster rütteln wie im Sturmwind. In dem hochgelegenen Stadtteile Niklasberg, wo sich der Stoß am heftigsten äußert, fallen Schiefer vom Dach. Auch in Brambach ist der Stoß sehr stark und erregt allgemeinen Schrecken; auf ihn folgt längeres Vibrieren des Bodens. In Bad Elster ist der Stoß so kräftig, daß er nicht nur in Gebäuden, sondern auch im Freien und zwar von Menschen in voller Bewegung bemerkt wird. In Markneukirchen versetzt der sehr starke Stoß den Fußboden und die Möbel für 2—3 Sekunden in schwankende Bewegung, wobei alles klirrt und klappert; darauf folgt ein zweiter, aber schwacher Stoß. In Landwüst wird der Kirchturm durch die Erderschütterung derart zum Schwanken gebracht, daß der Glockenklöppel leicht anschlägt. Auch in Untersachsenberg ist der Stoß sehr heftig, unter ihm prasseln die Häuser bis in die Sparren; einzelne Wanduhren bleiben stehen. Ebenso wird aus anderen Orten des Epizentralgebietes, so aus Oberreuth, Schönberg a. Kap., Erlbach, Brunndöbra, Klingenthal, Graslitz, Frankenhammer der Stoß als ein sehr heftiger gemeldet. Nach derartigen Wirkungen zu schließen, muß derselbe den Stärkegrad 5—6 erreicht haben. In dem der Epizentralzone benachbarten nördlichen Schüttergebiete mit den Orten Unterwürschnitz, Adorf, Arnoldsgrün, Schöneck, Karlsfeld, Rautenkranz, Wilzschhaus, Falkenstein, Auerbach, Schönhaide wird die Erschütterung noch als eine starke oder mittelstarke empfunden, ebenso im Süden in Bleistadt, Hartenberg, Wildstein, Eger, Haslau und Selb. In den noch weiter auswärts liegenden Landstrichen hingegen hat sich die Bodenbewegung bereits soweit abgeschwächt, daß sich z. B. in Lengenfeld nur ein aus der Ferne herankommendes starkes Donnerrollen bemerklich macht, bei dessen plötzlichem Aufhören Fenster und Glasgeschirr schwach erklirren, während in Greiz, freilich nur von einzelnen Personen noch 2 leichte Stöße gefühlt werden. Eine sehr schwache Erschütterung ist auch in Karlsbad von ganz wenigen Einwohnern beobachtet worden.

So läßt sich denn das gesamte Schüttergebiet dieses Hauptstoßes von $22^h\,9^m$, soweit die in dessen peripherischer Zone naturgemäß spärlicher gemachten und zur Mitteilung gelangten

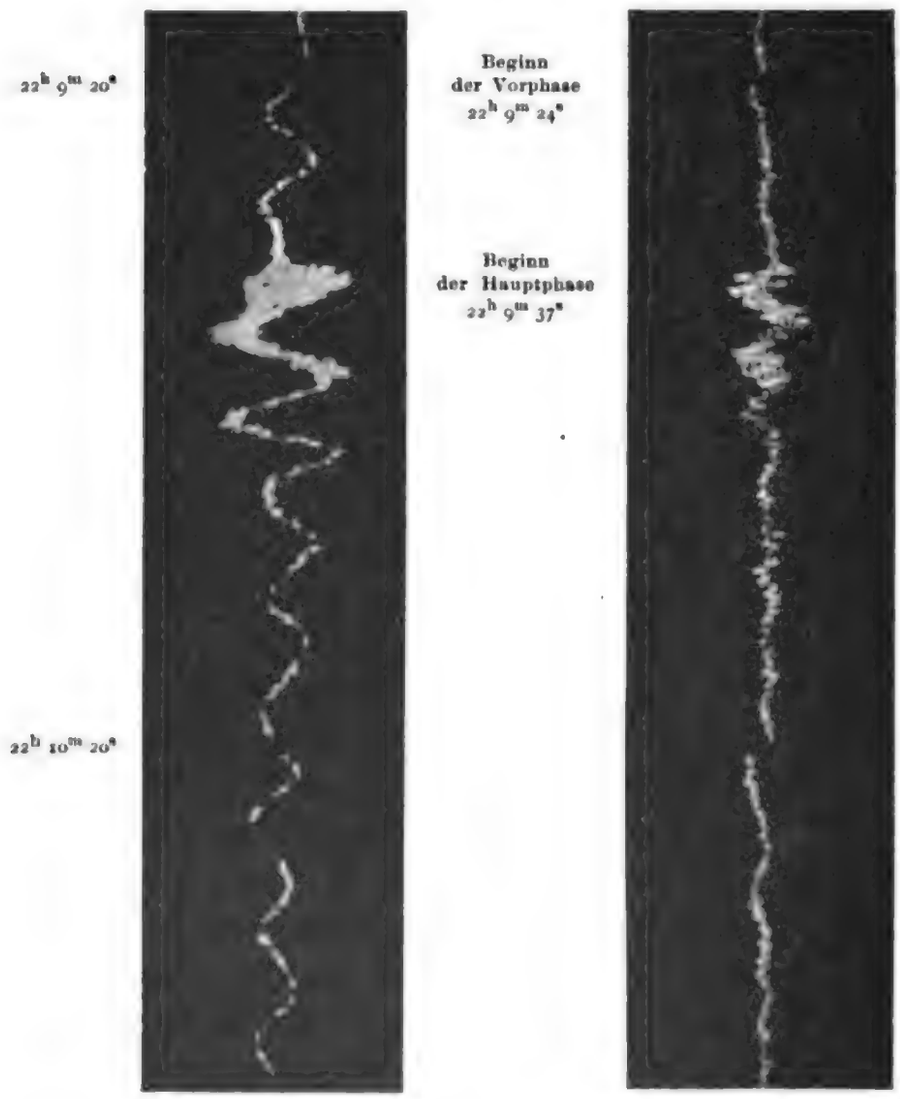
Digitized by Google

Beobachtungen reichen, wie folgt umgrenzen: Greiz im Norden, Gutenfürst, Hof, Schwarzenbach im Westen, Kirchenlamitz und Silberbach a. d. Eger im Südwesten, Palitz unweit Sandau im Süden und Neudeck-Seifenhäusel-Hirschenstand im Osten. Diese ungefähre Grenzlinie umzieht eine plump elliptische Fläche, deren nord-südliche Längsachse zwischen Greiz und Palitz 75 km, deren west-östliche Achse zwischen Hof und Neudeck-Seifenhäusel etwa 65 km mißt, während Karlsbad den Ort eines ziemlich weit jenseits der SO-Grenze des geschlossenen Schüttergebietes vorgeschobenen, isolirten Simultanbebens repräsentiert. Im Gegensatze zu späteren Schüttergebieten mit größerer östlicher, also erzgebirgischer Ausdehnung, werden wir die Schütterareale des Vogtlandes mit nordsüdlicher Längsachse kurz als vogtländische und zwar diejenigen von so großer Ausdehnung wie das eben beschriebene als „weitere vogtländische" bezeichnen (Tafel I; 3).

Wenn nun auch die makroseismischen Schütterwirkungen des Stoßes $22^h\,9^m$ nach Norden zu in der Gegend von Greiz ihr Ende erreicht haben, so haben sie sich doch in mikroseismischem Grade viel weiter nach N fortgesetzt und sind noch in Leipzig von dem hier stehenden WIECHERTschen Seismometer durch die beiden in Figur 4 und 5 S. 434 autotypisch wiedergegebenen Seismogramme registriert worden (Nr. 1 der Tabelle S. 527). Von diesen zeigt die N-S-Komponente (Figur 4), wenn auch nicht sehr scharf, so doch unverkennbar, den ersten Einsatz und die ihm folgende Vorphase, die eine Länge von 13,2 Sekunden besitzt, deren Aufzeichnung aber wegen Hüpfens der Schreibnadel nicht kontinuierlich, sondern in einzelnen, den Wellenlinien der Pulsationen folgenden schmitzförmigen oder rundlichen, derben Punkten von statten gegangen ist. Da auch die übrige seismogrammatische Linie durch langperiodige Pulsationen stark gestört ist, so wenden wir uns nun zunächst der O-W-Komponente zu (Fig. 5), die in größerer Reinheit zur Aufzeichnung gelangt ist. Ihr fehlt die Registrierung der Vorphase, vielmehr beginnt das Seismogramm direkt mit den $22^h\,9^m\,37^s$ scharf einsetzenden, kurzperiodigen Schwingungen des ersten Abschnittes der Hauptphase, die sich fast vollständig decken, so daß nur einzelne Ausschläge mit etwas größerer Amplitude über die mit ihnen verschmelzenden Nachbarn hervorragen. Diese größten Amplituden

Digitized by Google

erreichen den Betrag von 5,6 μ [1]) und gehen nach 8,5 Sekunden unter starker Verkleinerung der Amplituden, aber sehr wahrnehmbarer Verlängerung der Perioden in den zweiten aus nun meßbaren Schwingungen bestehenden Teil der Hauptphase über.



Figur 4. N-S-Komponente. Figur 5. O-W-Komponente.

Seismogramm des Stoßes vom 21. Februar $22^h\ 9^m\ 24^s$.
(Nr. 1 der Tabelle S. 527.)
Wie alle späteren Seismogramme in 1250facher Vergrößerung der wirklichen Bodenbewegung.

Die Perioden derselben betragen zuerst 1,17 Sekunde, ihre Amplituden bis 2 μ; allmählich verringern sich die letzteren mit Unterbrechungen durch geringfügige Steigerung mehr und mehr. Die Gesamtdauer der Bewegungen in diesem Teile der Hauptphase

1) 1 μ = 0,001 mm. Die Mikra beziehen sich hier und in der Folge stets auf die wirkliche Größe der Bodenbewegung.

Digitized by Google

beträgt etwa 25 Sekunden. An sie schließt sich in unmerklichem Übergang die Endphase an, welche ebenso untrennbar in die chronischen Störungen der Registrierlinie verläuft.

In dem Seismogramm der N-S-Komponente sind die seismischen Ausschläge wie der Vorphase, so auch der Haupt- und der Endphase den wellenförmigen Linien von Pulsationen aufgesetzt und erscheinen deshalb in verzerrter Gestalt. Trotzdem lassen sich auch hier mit vergleichender Zuhilfenahme der O-W-Komponente diese Abschnitte der seismischen Aufzeichnung noch erkennen.

Die tatsächlich, wenn auch nur schwach ausgeprägte Markierung der Vorphase auf der N-S-Komponente, welche bei der südnördlichen Bewegungsrichtung der Erdwellen zunächst in Betracht kommt, weist dieses Seismogramm zum Typus 3 und zwar an dessen Grenze nach Typus 2 (vergl. Fig. 3 und 2, S. 426).

Diesem Hauptstoße von $22^h\,9^m$ folgen leichte Stöße an in dessem Ausgangsgebiete zerstreuten Stellen, so

$22^h\,15^m$ in Graslitz, Kottenhaide und Markneukirchen,
$22^h\,20^m$ in Graslitz,
$22^h\,27^m$ in Brambach,
$22^h\,45^m$ in Bad Elster und Graslitz,
$23^h\,15^m$ und
$23^h\,30^m$ in Asch.

22. Februar.

Lokalstöße von meist sehr geringen, zuweilen etwas höheren Stärkegraden setzen fort, sind aber nicht mehr auf die epizentrale Zone beschränkt, sondern vollziehen sich an ordnungslos im ganzen Schüttergebiete des Hauptstoßes voriger Nacht verteilten Orten. So

$0^h\,45^m$ in Falkenstein,
1^h und
$2^h\,30^m$ in Markneukirchen,
$2^h\,58^m$ in Bleistadt und Unterwürschnitz bei Adorf,
$3^h\,02^m$ in Bleistadt;
$3^h\,15^m$ und
4^h erfolgt in Greiz je eine ziemlich starke Erschütterung, welche Häuser erzittern macht;
$4^h\,30^m$ in Schönberg a. Ka., Brambach und Roßbach,
$4^h\,47^m$ in Bad Elster,
$5^h\,07^m$ in Graslitz und Asch,

Digitized by Google

$6^h\,15^m$ in Asch,
$6^h\,33^m$ in Brambach, Schönberg a. Ka., Bad Elster, Asch, Frankenhammer ein stärkerer Stoß,
$6^h\,53^m$ in Bad Elster,
$7^h\,10^m$ in Graslitz,
12^h in Untersachsenberg,
$15^h\,30^m$ in Saalig und Eschenbach sw. von Schöneck,
$16^h\,50^m$ in Graslitz ziemlich starker Stoß,
$18^h\,07^m$ ebenso in Haslau,
$18^h\,30^m$ in Arnoldsgrün,
$18^h\,40^m$ in Haslau und Klingenthal,
19^h in Klingenthal,
$19^h\,15^m$ in Graslitz und Eibenberg,
$19^h\,30^m$ in Asch,
$19^h\,45^m$ in Graslitz etwas stärkerer Stoß, während der folgenden Nacht noch zahlreiche schwache Stöße,
$20^h\,05^m$ in Markneukirchen,
$20^h\,45^m$ in Brambach, Saalig, Eschenbach,
$22^h\,15^m$ in Bad Elster,
$22^h\,30^m$ in Untersachsenberg,
23^h in Asch,
$23^h\,15^m$ in Markneukirchen,
$23^h\,45^m$ in Graslitz und Markneukirchen.

23. Februar.

Schon in den Stunden bald nach Mitternacht beginnt sich die seismische Tätigkeit im Vogtlande zu steigern, was sich nicht nur in dem höheren Stärkegrad einzelner Lokalstöße, sondern auch in dem Wachsen der Zahl gleichzeitig betroffener Ortschaften kund gibt. Immer aber gehören diese dem Schüttergebiete des vorigen und des nächsten heftigen Stoßes an.

$0^h\,08^m$ und
$0^h\,45^m$ werden in Graslitz die Häuser durch einen Stoß fühlbar erschüttert,
1^h in Frankenhammer, Graslitz, Kottenhaide und Rautenkranz schwacher Stoß,
$1^h\,15^m$ in Untersachsenberg ziemlich kräftiger Stoß; Häuser erzittern stark; ihm folgt bis morgens 6 Uhr mehr als

2omaliges unterirdisches Donnern, in Eibenberg schwächerer Stoß,

2^h in Asch schwacher,

$2^h\ 15^m$ in Untersachsenberg und Bleistadt stärkerer Stoß,

$2^h\ 45^m$ in Bad Elster, Hermesgrün, Schöneck schwache Erschütterung.

3^h in Brambach, Adorf, Frankenhammer, Graslitz, Untersachsenberg, Karlsfeld, Rautenkranz ein kräftigerer Stoß, ebenso

$3^h\ 30^m$ in Klingenthal,

4^h in Asch und Nachbarorten schwacher Stoß.

Zwischen $4^h\ 32^m$ und $6^h\ 32^m$ gipfeln sich die seismischen Erscheinungen des 23. Februar in 3 Hauptstößen, von denen der letzte die größte Stärke besitzt und die weiteste Ausdehnung erreicht.

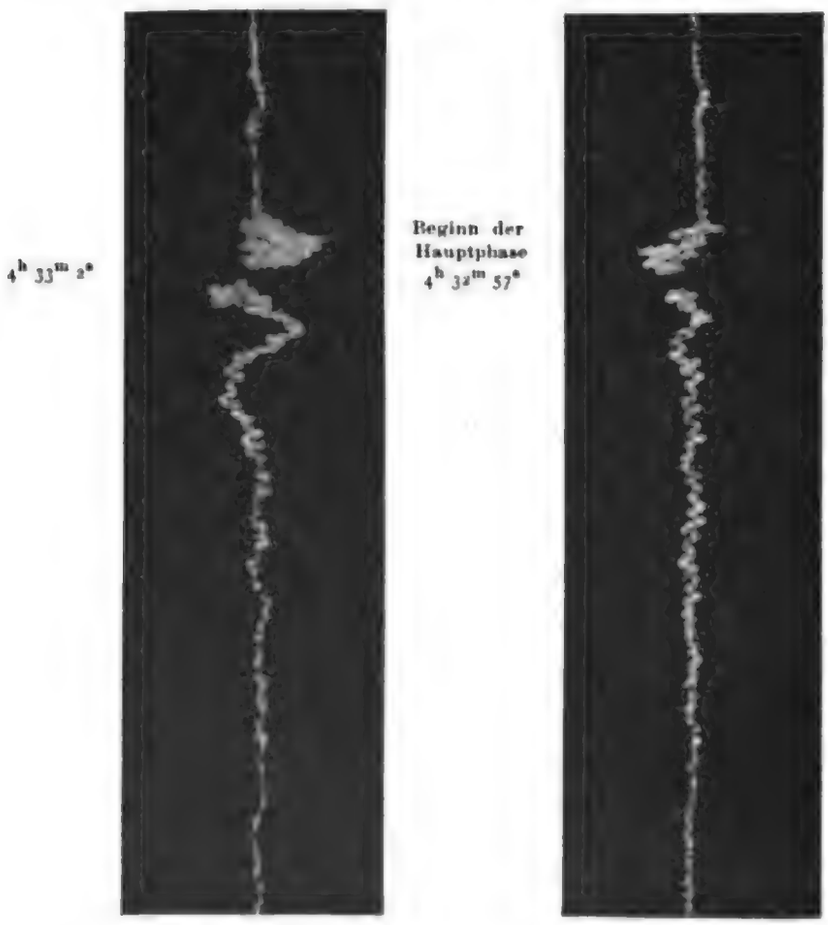
$4^h\ 32^m$ ein kräftiger Stoß, der sich in der bisherigen Epizentralzone (siehe Tafel I, 1) am heftigsten äußert und von hier aus seine Schütterwirkung wesentlich nach Norden über den zentralen Teil des Vogtlandes über Schönhaide und Auerbach bis Lengenfeld ausübt. Dieses sein Schüttergebiet besitzt ebenso wie dasjenige des Stoßes vom 21. Februar $22^h\ 9^m$ elliptische Gestalt mit nord-südlicher Hauptachse, die aber diesmal nur 45 km Länge erreicht, also hierin wesentlich hinter derjenigen des letzteren zurückbleibt. Schütterareale von dieser engeren vogtländischen Ausdehnung wiederholen sich während des diesmaligen Erdbebenschwarmes am häufigsten, haben sich schon in früheren Jahren öfters wiederholt und werden deshalb als „chronische vogtländische Schüttergebiete" bezeichnet (vergl. Tafel I, 2).

Innerhalb der Epizentralzone des letzteren spielt sich der Stoß $4^h\ 32^m$ augenscheinlich in deren südwestlichem Rayon, also in dem Landstriche Asch-Markneukirchen ab und zwar in letzterer Stadt in dem Grade, daß zahlreiche Bewohner entsetzt aus dem Schlafe und den Betten fahren und Licht anzünden. Ebenso wurde in Asch der größere Teil der Bevölkerung aus dem Schlafe gerüttelt, sodaß der Stoß in dieser Gegend den Stärkegrad 5 besessen haben muß. Auch aus Schönberg, Fleißen, Brambach, Bad Elster, Erlbach, Schöneck, Klingenthal, Untersachsenberg, Graslitz, Bleistadt, Hartenberg, ja selbst noch aus dem nördlich vorliegenden Rautenkranz wird

Digitized by Google

über einen Stoß von großer Stärke berichtet, während sich die Erschütterung in Auerbach und Lengenfeld kaum noch als solche, sondern wesentlich als unterirdisches Rollen kundgibt.

Von unserem zuverlässigen Berichterstatter Herrn Königl. Oberförster LEDIG wird aus der weit außerhalb und zwar etwa 30 km von der Ostgrenze des geschlossenen Schüttergebietes dieses Stoßes im Erzgebirge am Fuße des Fichtelberges gelegenen Stadt



Figur 6. N-S-Komponente. Figur 7. O-W-Komponente.

Seismogramm des Erdstoßes vom 23. Februar 4h 32m 57s.
(Nr. 2 der Tabelle.)

Oberwiesenthal eine gleichzeitige wellenförmige Erschütterung gemeldet, — deshalb ein auffälliges Ereignis, weil aus dem ganzen zwischenliegenden Gebirgsabschnitte keinerlei derartige Berichte eingegangen sind, Oberwiesenthal also in dieser Beziehung ganz isoliert dasteht.

Mikroseismisch haben sich die Wellen auch dieses Stoßes bis Leipzig fortgepflanzt, wo sie die obenstehenden Seismogramme Fig. 6 und 7 aufzeichneten. Dieselben gehören dem Typus 2 an

Digitized by Google

(vergl. S. 427), da in ihnen die Vorphase nicht markiert ist, vielmehr die Hauptphase, wenigstens bei der O-W-Komponente, ganz plötzlich mit ihren größten Schwingungen einsetzt, die sich im ersten Teile dieser Phase noch decken, dann in offene Wellen übergehen. Die größten Schwingungen der O-W-Komponente betragen im ersten Abschnitte 5,6 μ; im zweiten Teile messen die Perioden 1,17 Sec. In den Aufzeichnungen der N-S-Komponente setzen die Schwingungen nicht unmittelbar mit den größten Amplituden ein, sondern erreichen rasch anschwellend erst etwa nach 2 Sekunden ihr Maximalmaß von 7,6 μ.

In dem Zeitzwischenraume zwischen diesem und dem nächsten Hauptstoße spielen sich zum Teil ziemlich starke Lokalstöße ab und zwar:

5^h in Graslitz, Kottenhaide, Wohlhausen, Markneukirchen schwach;

$5^h\ 30^m$ in Asch, Brambach, Erlbach, Saalig, Tannebergsthal stärker;

$5^h\ 45^m$ in Asch, Markneukirchen, Frankenhammer, Bleistadt, Arnoldsgrün, Ellefeld, Lengenfeld schwach;

$5^h\ 58^m$ in Adorf stärkerer Stoß, Fenster klirren, Bilder schwanken. Darauf erfolgt

$6^h\ 14^m$ ein kräftiger Stoß, der jedoch an Stärke und an Ausdehnung seines Schüttergebietes hinter dem vorigen Hauptstoß um etwas zurück bleibt, indem er sich von der Epizentralzone Graslitz-Markneukirchen aus nach Norden nur bis Falkenstein und Ellefeld ausbreitet. Doch liegt die Längsachse seines wiederum elliptischen Schütterareales (Brambach-Ellefeld) gleichfalls in nordsüdlicher Richtung, sodaß letzteres ebenfalls der Gruppe der chronischen vogtländischen Schüttergebiete angehört (vergl. Tafel I, 2).

Auch dieser schwächere Stoß ist vom Leipziger Seismometer registriert worden und ergab ein dem Typus 2 zuzurechnendes Seismogramm, was jedoch entschieden schwächer ist als das des vorhergehenden Stoßes von $4^h\ 30^m$, indem die größte Amplitude der N-S-Komponente nur 3 μ mißt.

$6^h\ 32^m$ ein Stoß von noch größerer Energie als der von $4^h\ 32^m$ und deshalb mit weit beträchtlicherer Ausdehnung seines Schüttergebietes, welches über dasjenige des eben genannten Stoßes, und zwar vorzüglich in östlicher Richtung, wesentlich

Digitized by Google

hinausgreift, sich innerhalb desselben durch noch intensivere seismische Wirkungen auszeichnet und deshalb ein engeres Netz von Orten der Beobachtung und Berichterstattung geliefert hat. In dem epizentralen Gebiete Asch-Schönberg-Brambach-Markneukirchen-Graslitz-Untersachsenberg hat dieser Stoß mehrorts die Bewohner aus dem Schlafe erweckt und mit Entsetzen erfüllt, sodaß viele auf die Straße stürzten; lokal fühlte man die Betten wellig gehoben, die Häuser wurden von den Grundmauern aus bis zum Dach erschüttert, Dielen und Türen knackten, kleinere Möbel und Bilder schwankten, Küchengeschirr, Tassen und Flaschen klappern, ja stürzen um (Schönberg a. Ka.), Hängelampen pendeln, Fenster erklirren. Lang anhaltender dröhnender Donner begleitet die Erschütterung.

Das Schüttergebiet dieses Stoßes weicht dadurch von denen der früheren Stöße ab, daß es sich nicht wie bei den bisher ausschließlich vertretenen vogtländischen Schüttergebieten fast ganz auf das Vogtland beschränkt, sondern sich nach Osten zu über Neudeck beträchtlich auf das Erzgebirge ausdehnt, wo es noch in den 35 bis 38 km von Graslitz-Untersachsenberg entfernten Orten Obermittweida, Krottendorf, Oberwiesenthal, Tellerhäuser bei Gottesgab in Form starker, wellenförmiger, von unterirdischem Rollen begleiteter Bodenbewegungen auch von in Arbeit begriffenen und im Freien befindlichen Personen wahrgenommen wird.

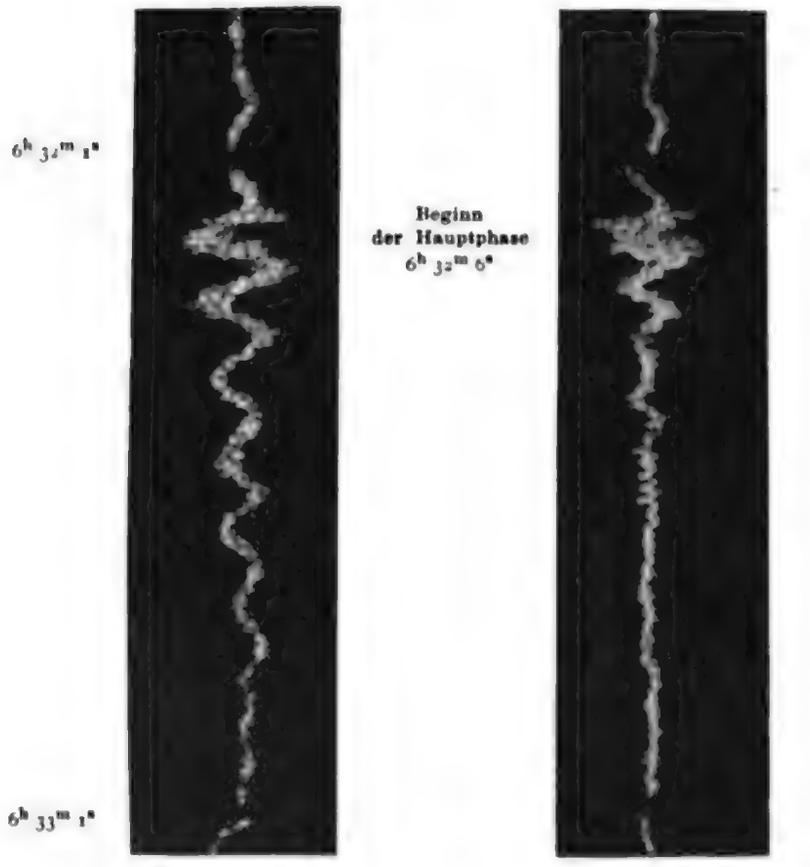
Durch diese östliche, also erzgebirgische Ausbreitung erhält das Schüttergebiet des Stoßes $6^h\ 32^m$ eine von den „vogtländischen Schüttergebieten“ durchaus abweichende Gestalt, indem es die Form einer von W nach O langgestreckten Ellipse annimmt mit einer Längsachse, die auf derjenigen der erstgenannten Schütterellipsen fast senkrecht steht. Derartige sich in dem diesmaligen Erdbebenschwarme mehrfach, und zwar zum Teil in noch viel ausgesprochenerem Grade, wiederholende Schüttergebiete werden von den „vogtländischen“ als „vogtländisch-erzgebirgische“ unterschieden.

Die von diesem Stoße in Leipzig registrierten Seismogramme Figur 8 und 9 (No. 4 der Tabelle S. 527) gehören trotz der beträchtlicheren Ausdehnung seines Schüttergebietes noch dem Typus 2 an (S. 427), entbehren also der Aufzeichnung des ersten Einsatzes und der Vorphase. Dahingegen sind entsprechend der größeren Stärke der Erschütterung die Amplituden beider Teile

Digitized by Google

der Hauptphase wesentlich größer als bei dem Stoße $4^h\,32^m$, indem sie 9 μ erreichen.

Nach Ablauf dieser Gruppe von Hauptstößen tritt eine Abschwächung der seismischen Tätigkeit ein, welche sich während des ganzen Tages und der folgenden Nacht von Zeit zu Zeit durch meist nur noch schwache Lokalerschütterungen kundgibt:



Figur 8. N-S-Komponente. Figur 9. O-W-Komponente.

Seismogramm des Erdstoßes vom 23. Februar $6^h\,32^m\,6^s$.
(Nr. 4 der Tabelle.)

$6^h\,50^m$ in Graslitz etwas stärkerer Stoß,
$7^h\,20^m$ in Brambach und Fleißen schwache Erschütterung,
$7^h\,30^m$ in Klingenthal etwas stärkerer Stoß,
$8^h\,15^m$ und
$8^h\,30^m$ in Brambach schwacher Stoß,
$8^h\,45^m$ in Graslitz etwas stärkerer Stoß;
$10^h\,30^m$ und
$11^h\,26^m$ in Brambach,
$11^h\,55^m$ in Kottenhaide,
$14^h\,8^m$ und

Digitized by Google

16h 15m in Brambach,
17h 30m in Frankenhammer,
17h 36m in Kottenhaide und
21h 32m in Brambach schwache Erschütterungen;
21h 45m in Brunndöbra, Brambach, Wohlhausen etwas stärkerer Stoß,
23h 14m in Klingenthal 1 stärkerer und 2 schwächere Stöße, in Brambach schwache Erschütterung, in Auerbach unterirdisches Rollen.

24. Februar.

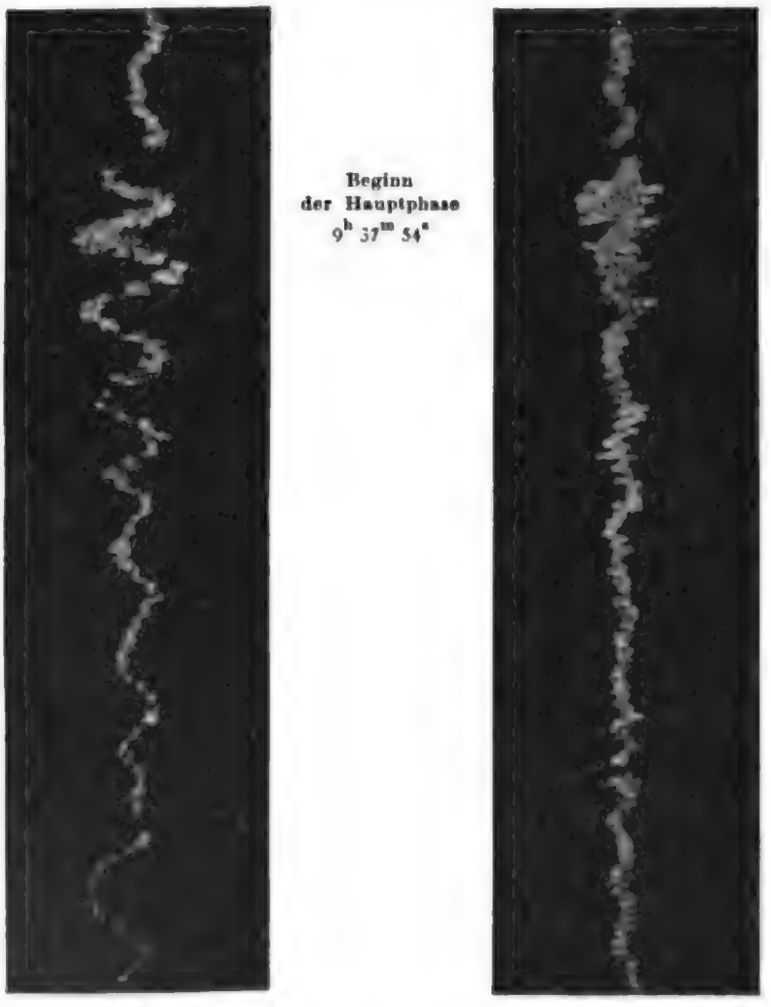
Mit dem Beginn des 24. Februar werden die seismischen Äußerungen wieder etwas reger. Aus Graslitz wird berichtet, daß dort auf jede halbe Stunde ein, wenn auch schwacher Stoß falle, auf die aber kaum noch geachtet werde. Auch aus Bleistadt wird von einer Anzahl leichter Stöße berichtet, welche sich dort zu jener Zeit abgespielt haben. Außerdem liegen folgende Meldungen über schwache Lokalerschütterungen vor:

1h 15m aus Untersachsenberg,
2h Frankenhammer,
2h 10m Wohlhausen,
2h 15m Untersachsenberg und Eibenberg,
2h 30m Bad Elster,
2h 45m Brambach,
3h 15m Untersachsenberg und Brambach,
4h Frankenhammer,
4h 35m und
6h 05m Untersachsenberg, Brunndöbra.

Der recht energische Hauptstoß dieses Tages vollzieht sich **9h 37m**, dürfte von der Brambacher Gegend ausgegangen sein und sich wie in früheren Fällen von hier aus am kräftigsten in nördlicher Richtung fortgepflanzt haben, wo er sich besonders intensiv in Gürth, Markneukirchen, Wohlhausen, Arnoldsgrün, Saalig, Falkenstein bis Rautenkranz äußerte, um dann mehr und mehr zu verklingen, sodaß er sich in Lengenfeld nur noch schwach bemerklich machte. Damit stimmt überein, daß die Richtung der Erdbewegung und des sie begleitenden, langandauernden unterirdischen Donnerrollens, wo solche überhaupt namhaft gemacht sind (Gürth, Arnoldsgrün, Zwota, Ellefeld) als

Digitized by G

von S nach N verlaufend angegeben werden. So wird denn auch dieser Stoß in den Berichten aus dem weiter östlich gelegenen Graslitz nur als mittelstark bezeichnet. Das Schüttergebiet desselben deckt sich ungefähr mit demjenigen des ersten Hauptstoßes $4^h\,32^m$ des vorigen Tages (S. 437) und bildet sonach ebenfalls eine Ellipse, deren längere Achse Lengenfeld im N und Schönberg im S



Figur 10. N-S-Komponente. Figur 11. O-W-Komponente.

Seismogramm des Erdstoßes vom 24. Februar $9^h\,37^m\,54^s$.
(Nr. 5 der Tabelle.)

verbindet und etwa 45 km mißt, während seine östliche Erstreckung weit hinter derjenigen des gestrigen Stoßes $6^h\,32^m$ zurückbleibt. Der am 24. Februar $9^h\,37^m$ erfolgte Stoß besitzt somit ein in die Gruppe der „chronischen vogtländischen Schüttergebiete" gehöriges Schütterareal (vergl. Tafel I, 2).

Die von diesem Stoße gelieferten Seismogramme Fig. 10 und 11 (No. 5 der Tabelle S. 527) gehören, wie zu erwarten, wieder-

Digitized by Google

um dem Typus 2 an, dessen Einzelheiten (S. 427) sich in ihnen wiederholen, nur daß sich ziemlich starke Pulsationen störend bemerklich machen. Wie schon von vornherein zu schließen war, sind die Amplituden der diesmaligen Ausschläge etwas kleiner als bei dem letzten wesentlich stärkeren Hauptstoß vom 23. Februar $6^h\,32^m$ (S. 439) und betragen bis 7,3 μ.

Aus einer Anzahl über das Schüttergebiet dieses Stoßes ordnungslos und weitläufig zerstreuter Orte (Brambach, Fleißen, Georgengrün, Bad Elster, Markneukirchen, Wohlhausen, Untersachsenberg, Klingenthal und Rautenkranz) wird von einem zweiten, aber schwächeren Stoße berichtet, der auf den Hauptstoß etwa 10 Minuten später gefolgt ist.

Die nicht sehr zahlreichen Erschütterungen des übrigen Tages sind durchweg lokaler Art, ziemlich schwach, wie immer von unterirdischem Geräusch begleitet und konzentrieren sich insbesondere auf Brambach, Markneukirchen und Untersachsenberg. Sie fanden statt:

$10^h\,43^m$ in Brambach, Wohlhausen und Bleistadt,
$13^h\,12^m$ in Brambach (etwas stärker),
14^h in Markneukirchen,
$15^h\,30^m$ in Untersachsenberg und Kottenhaide,
18^h in Markneukirchen,
$18^h\,15^m$ in Brambach (etwas stärker),
$20^h\,15^m$ in Greiz,
$20^h\,40^m$ in Asch, Brambach, Fleißen,
$23^h\,08^m$ und
$23^h\,20^m$ in Brambach.

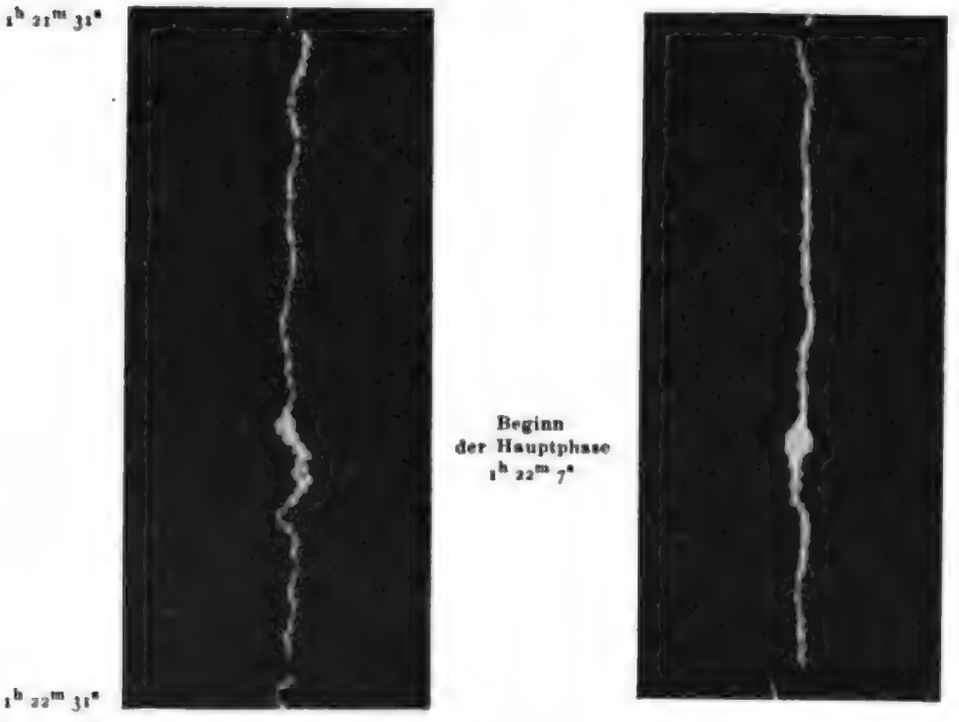
25. Februar.

Bereits in den Beginn des 25. Februar fällt ein Stoß, welcher sich

$1^h\,22^m$ in Brambach, Klingenthal, Eibenberg bei Graslitz, Wilschhaus, Rautenkranz und Falkenstein recht kräftig fühlbar macht, also einen größeren Teil des „chronischen vogtländischen Schüttergebietes“ betrifft, der jedoch an Ausdehnung hinter demjenigen des vorigen Bebens (24. II, $9^h\,37^m$) zurückbleibt. Die Tatsache, daß aus den zwischen obigen Orten gelegenen Plätzen Meldungen über diese Erschütterung nicht eingegangen sind, bleibt

Digitized by Google

nur aus deren für ihre Wahrnehmung höchst ungünstigen Zeitlage erklärlich, da sie sich mikroseismisch noch in Leipzig fühlbar gemacht und hier die beistehenden Seismogramme Fig. 12 und 13 geliefert hat. Dieselben können als ausgezeichnete Beispiele des Typus 1 unserer seismogrammatischen Registrierungen gelten (vergl. S. 427) und beschränken sich sonach fast ausschließlich auf die Aufzeichnung des ersten Teiles der Hauptphase. Die sehr kurzperiodigen Schwingungen der letzteren decken sich bei der



Figur 12. N-S-Komponente. Figur 13. O-W-Komponente.

Seismogramm des Erdstoßes vom 25. Februar 1h 22m 7s.
(Nr. 6 der Tabelle.)

O-W-Komponente so vollkommen, daß von der Schreibnadel nur eine plumpe, knopfartige Verdickung der Registrierlinie und zwar nur auf die Dauer von 4 Sekunden erzeugt wird, welche keinerlei Auflösung zuläßt. Die größten Amplituden dieser einheitlich verschmolzenen Ausschläge betragen nur 2,6 μ. Auf der N-S-Komponente zieht sich der auch hier allein registrierte erste Teil der Hauptphase, ebenfalls aus lauter sich deckenden Schwingungen bestehend, mehr in die Länge, sodaß er die Dauer von etwa 8 Sekunden in Anspruch nimmt. Dahingegen messen hier die größten Amplituden nur 1,8 μ.

Von diesem Hauptstoße an bleibt das bisherige Schüttergebiet

Digitized by Google

des Vogtlandes während des ganzen Tages der Schauplatz einer fast stetigen seismischen Tätigkeit, die sich vorzüglich in der Brambach-Adorfer, etwas weniger lebhaft in der Graslitz-Klingenthaler Gegend durch freilich fast durchweg schwache, selten etwas stärkere Stöße äußert, sich aber auch in der weit nach N vorgeschobenen Stadt Greiz kundgibt:

$1^h\,25^m$ in Brambach, Eibenberg, Neudeck,
$1^h\,30^m$ in Klingenthal 3 schwache Erschütterungen,
$1^h\,45^m$ in Klingenthal 1 stärkerer Stoß,
$1^h\,58^m$ in Schönberg, Brambach, Wilzschhaus schwache Erschütterungen, ebenso
$2^h\,15^m$ in Markneukirchen,
$3^h\,05^m$ in Schönberg, Brambach und Fleißen stärkerer Stoß, ebenso
4^h in Georgenthal bei Klingenthal,
$6^h\,14^m$,
$6^h\,26^m$,
$6^h\,34^m$ und
7^h in Brambach und Nachbarorten schwache Stöße, desgleichen,
$8^h\,15^m$ in Greiz, Georgenthal und Adorf,
$8^h\,18^m$ und
$8^h\,22^m$ in Adorf,
$8^h\,45^m$ in Klingenthal,
$8^h\,55^m$,
$9^h\,32^m$ und
$9^h\,41^m$ in Adorf,
$9^h\,45^m$ in Grünbach,
$10^h\,03^m$ in Georgenthal,
$11^h\,45^m$ in Asch,
$13^h\,05^m$ in Georgenthal,
$13^h\,27^m$ in Adorf;
14^h in Adorf stärkerer Doppelstoß, in Bad Elster, Graslitz, Georgenthal leichte Erschütterung;
$16^h\,16^m$,
$16^h\,17^m$ und
$16^h\,50^m$ schwache Stöße in Adorf,
$18^h\,05^m$ in Graslitz, Georgenthal, Bad Elster stärkerer, in Grünbach und Klingenthal schwacher Stoß;

Digitized by

$21^h\,15^m$ in Georgenthal,
$22^h\,30^m$,
$22^h\,45^m$ und
$23^h\,45^m$ in Graslitz,
$23^h\,55^m$ in Bad Elster leichte Stöße.

26. Februar.

Gleich nach Mitternacht, nämlich

$0^h\,12^m$ erfolgt ein starker Stoß, dessen makroseismisches Schüttergebiet dasjenige des Bebens vom 25. Februar $1^h\,22^m$ an Ausdehnung noch etwas übertrifft und wiederum eine langgestreckte, verhältnismäßig schmale Zone vom Typus der „chronischen vogtländischen Schüttergebiete" bildet, deren nordsüdliche größere Achse in ungefähr 42 km Länge die Orte Haslau im Süden und Schnarrtanne (östlich von Auerbach) im NNO verbindet, während die Breite dieser Schütterzone 18—20 km kaum zu überschreiten scheint. Wiederum gehören der letzteren die Orte Brambach, Klingenthal, Eibenberg, Wilzschhaus, Rautenkranz und Falkenstein an, außerdem zugleich die Ortschaften Haslau, Fleißen, Asch, Roßbach, Bad Elster, Adorf, Markneukirchen, Graslitz, Schöneck, Untersachsenberg, Ellefeld, Auerbach, Vogelsgrün, Schnarrtanne und Schönhaide. In manchen dieser Plätze, so in Asch, Brambach, Adorf und Markneukirchen vollzieht sich dieser Stoß mit solcher Heftigkeit, daß viele Schläfer, ja z. B. in Adorf die meisten Bewohner erwachen, wonach derselbe den Stärkegrad 5 besessen haben muß. Aber auch im äußersten Norden des oben umschriebenen Schüttergebietes, so in Rautenkranz, Wilzschhaus, Ellefeld, Vogelsgrün, Schnarrtanne besitzt die Erschütterung noch eine derartige Stärke, daß Türen, Fenster und Dachschiefer lebhaft klappern. Es geht hieraus hervor, daß das Beben noch eine beträchtlich größere Ausdehnung gehabt haben wird, aber hier in seiner abgeschwächten Wirkung zu dieser mitternächtlichen Zeit der Beobachtung der schlafenden Bevölkerung entgangen ist. Jedenfalls hat sich dasselbe in mikroseismischem Stärkegrad bis Leipzig fortgepflanzt.

In dem hierselbst aufgezeichneten Seismogramme (No. 7 der Tabelle S. 527) bilden die sehr kurzperiodigen, deshalb miteinander verschmelzenden Ausschläge eine schweifartige, feinst

Digitized by Google

gezähnelte Verdickung ähnlich wie bei der N-S-Komponente des Stoßes vom 25. Februar $1^h\,22^m$ Fig. 12 und 13 Seite 445. Dieselbe ist in der O-W-Komponente dadurch deutlicher ausgesprochen als in der N-S-Komponente, daß bei ihr die ersten Wellen ruckartig mit den größten Amplituden (2 μ) einsetzen. Dauer der Vibration 7—8 Sekunden. Die Seismogramme dieses Bebens gehören demnach dem Typus 1 (Seite 426, Figur 1) an, obwohl man bei dem Stärkegrade, mit dem sich dasselbe in seinem vogtländischen Schüttergebiete kundgab, eine intensivere Einwirkung auf das Leipziger Seismometer und zwar Seismogramme vom Typus 2 hätte voraussetzen dürfen. Aber selbst aus den tatsächlich gelieferten minimalen Aufzeichnungen ergibt es sich, daß dieses Beben aus 2, in einem Zeitzwischenraume von 10 Sekunden aufeinanderfolgenden Stößen bestanden hat (No. 7 und 8 der Tabelle), die freilich in den aus dem Vogtlande eingegangenen Berichten nur an wenig Orten (Vogelsgrün, Schnarrtanne, Jugelsburg) getrennt gehalten worden sind. Voraussichtlich sind die Beobachter durch den ersten der beiden Stöße aus dem Schlafe geweckt worden, sodaß ihnen erst die zweite Erschütterung zum Bewußtsein gelangte.

Wie stets nach solchen Hauptstößen spielen sich auch nach denjenigen $0^h\,12^m$ des 26. Februar noch längere Zeit hindurch innerhalb ihres Schüttergebietes Erschütterungen ab, die aber meist nur geringen Stärkegrad erreichen und nur selten gleichzeitig an mehreren Orten beobachtet werden. Die gemeldeten Lokalstöße verteilen sich wie folgt auf fast alle Stunden des Tages:

$0^h\,35^m$ in Roßbach, Adorf, Eibenberg und Wilzschhaus leichte Stöße,
$0^h\,45^m$ in Falkenstein heftigerer Stoß,
$2^h\,29^m$ in Brambach stärkerer Stoß, ebenso in Eibenberg und Graslitz, hier außerdem während der Nacht noch viele schwache Stöße,
$3^h\,15^m$ — $3^h\,30^m$ in Untersachsenberg 3 Stöße,
4^h in Ellefeld stärkerer Stoß,
$5^h\,15^m$ in Graslitz mehrere schwache Stöße,
$5^h\,43^m$ in Bad Elster stärkere,
$6^h\,30^m$ in Rodewisch leichte Erschütterung,
$6^h\,40^m$ in Bleistadt stärkerer Stoß, vorher im Laufe der Nacht mehrere leichte Stöße,

Digitized by Google

10h 30m in Georgenthal, Klingenthal, Schönberg schwache Stöße, ebenso
12h 12m in Wilzschhaus und
12h 16m in Untersachsenberg;
12h 45m in Brunndöbra stärkerer Stoß, darauf bis 14h 15m noch 5 Stöße,
13h 30m und
15h 40m in Adorf,
16h 17m in Adorf und Markneukirchen,
16h 35m in Untersachsenberg schwache Stöße,
19h 15m in Schöneck dreimaliges gewaltiges Donnerrollen,
19h 45m in Brunndöbra, Eibenberg,
20h 33m,
20h 35m,
21h 39m und
21h 42m in Adorf schwächere Stöße,
22h 05m in Graslitz mehrere leichtere Stöße,
22h 55m in Markneukirchen und
24h in Untersachsenberg schwacher Stoß.

27. Februar.

Schwache, nur zum Teil in Graslitz, Brambach und Asch etwas kräftigere Lokalerbebungen setzen fort:

0h 10m in Lengenfeld starkes unterirdisches Rollen, in Graslitz schwacher Stoß,
0h 44m in Brambach stärkerer,
0h 57m und
0h 59m in Brambach und Untersachsenberg schwacher Stoß,
1h 41m in Brambach stärkerer,
1h 42m schwacher Stoß, ebenso
1h 45m in Klingenthal und Brunndöbra,
2h in Asch ziemlich starker Stoß, der viele Schläfer erweckt, in Brambach schwache Erschütterung,
2h 50m in Graslitz stärkerer, in Bad Elster schwacher Stoß,
2h 57m in Auerbach langes unterirdisches Rollen,
3h in Markneukirchen mehrere schwache Stöße,
4h 34m in Untersachsenberg stärkerer Stoß.

Digitized by Google

Auf diese um Mitternacht des 26./27. Februar einsetzende Periode geringerer und sporadischer seismischer Betätigung folgt nun

5h 32m ein neuer stärkerer Stoß, dessen Schüttergebiet wiederum ungefähr die gleiche Ausdehnung besitzt, wie dasjenige der Beben vom 24. Februar 9h 37m vom 25. Februar 1h 22m und vom 26. Februar 0h 12m (s. Tafel I, 2), sich demgemäß von Schönberg-Brambach-Asch im Süden nördlich bis nach Lengenfeld-Schönhaide erstreckt und seine größte Breite zwischen Graslitz und Adorf erreicht, also gleichfalls der Gruppe der „chronischen vogtländischen Schüttergebiete" angehört.

Von den in Leipzig erfolgten seismogrammatischen Aufzeichnungen dieses Bebens ist diejenige der N-S-Komponente durch Pulsationen gestört, während das Seismogramm der O-W-Komponente an der unteren Grenze des Typus 2 steht, sich also bereits dem Typus 1 nähert (vergl. Seite 427). Seine größten Amplituden betragen 3 μ (Nr. 9 der Tabelle).

Die sich im Laufe des Tages wiederholenden zahlreichen Lokalerschütterungen konzentrieren sich namentlich auf die Nachmittags- und Abendstunden zwischen h 15 und 19 und während dieser abermals auf die alten pleistoseismischen Bezirke von Graslitz, Brunndöbra und Adorf. In der nachstehenden wie in den später folgenden Listen sind nur die stärkeren Stöße gegenüber den sonst durchweg schwachen Erschütterungen ausdrücklich als solche bezeichnet.

6h 30m in Fleißen,
10h 45m in Schönberg,
12h 05m in Adorf stärkerer Stoß,
14h 42m in Adorf,
15h 30m in Frankenhammer 2 leichte Stöße,
15h 45m in Brunndöbra,
15h 55m in Lengenfeld und den benachbarten Orten Grün, Eich, Buch, Waldkirchen, Plohn Erzittern der Häuser, leises Klirren des Geschirres, starkes Rollen,
15h 59m in Graslitz und Frankenhammer,
16h 02m in Adorf,
16h 10m in Brambach, Fleißen, Frankenhammer, Adorf, Graslitz, Eibenberg, Rautenkranz kräftiger Stoß, ebenso
17h 15m in Brunndöbra,

Digitized by Google

$17^h\,31^m$,
$17^h\,47^m$ und
$17^h\,49^m$ in Adorf,
$18^h\,15^m$ in Brunndöbra,
$18^h\,20^m$ in Adorf,
$18^h\,30^m$ in Brunndöbra schwacher, in Adorf stärkerer Stoß,
$22^h\,50^m$ in Markneukirchen mehrere schwache Stöße.

28. Februar.

Auch an diesem Tage machen sich die gewohnten Lokalerschütterungen ebenfalls nur zum Teil in etwas kräftigerer Form ganz sporadisch und unabhängig voneinander fühlbar:

$0^h\,40^m$ in Graslitz,
3^h in Mehltheuer,
$4^h\,55^m$ in Markneukirchen,
$6^h\,30^m$ in Brambach stärkerer Stoß, ebenso
10^h in Frankenhammer, sowie
$10^h\,08^m$ in Brambach und
$10^h\,40^m$ in Brunndöbra;
$10^h\,45^m$ in Brambach,
$10^h\,47^m$ in Brambach,
11^h in Graslitz stärkerer, in Bad Elster schwacher Stoß,
14^h in Frankenhammer stärkerer Stoß,
$19^h\,46^m$ in Brambach,
$22^h\,45^m$ in Graslitz und Rautenkranz.

1. März.

Ein Tag verhältnismäßiger Ruhe. Nur abends kurz nach 9 Uhr ereignet sich im Süden des Schüttergebietes eine etwas stärkere Erschütterung, die sich weiter im Norden, soweit die eingegangenen Berichte reichen, aber nur an einigen wenigen Orten fühlbar macht.

$0^h\,13^m$ in Graslitz leichter Stoß,
$18^h\,10^m$ in Markneukirchen schwache Erschütterung,
$21^h\,10^m$ in Schönberg a. Ka., Brambach, Markneukirchen, Rautenkranz, Brunndöbra, Grünhaide bei Falkenstein etwas stärkerer Stoß.

Digitized by Google

2. März.

Lokalstöße spielen sich während des Vor- und Nachmittages wiederum im südlichen Bereiche des alten Schüttergebietes ab:

$4^h\,54^m$ in Brambach und Untersachsenberg,
$6^h\,10^m$ in Markneukirchen und Rautenkranz,
$9^h\,10^m$ und
$10^h\,30^m$ in Bad Elster,
$14^h\,45^m$ in Brunndöbra,
$16^h\,30^m$ in Kottenhaide,
$17^h\,45^m$ in Klingenthal,
$17^h\,47^m$ in Untersachsenberg und Klingenthal,
$18^h\,08^m$ in Graslitz und Eibenberg,
$18^h\,15^m$ steigert sich die bis dahin sporadische Tätigkeit zu einem ziemlich kräftigen Stoß, der das gesamte Schüttergebiet der bisherigen Lokalstöße, also den Landstrich Schönberg-Brambach-Bad Elster-Markneukirchen-Graslitz-Klingenthal-Untersachsenberg teilweise recht heftig erschüttert. Doch reicht sein Stärkegrad ebensowenig wie derjenige des Bebens vom gestrigen Abend $21^h\,10^m$ aus, um sich am Seismometer in Leipzig fühlbar zu machen.

Auch während der nun folgenden Stunden bleibt das nämliche Areal einer nicht geringen Zahl von Erdstößen unterworfen. Aus Schöneck und Nachbarorten wird berichtet, „daß schwache Erbebungen so zahlreich auftreten, daß man sie nicht mehr zählt", — aus Untersachsenberg, „daß dieselben von der Bevölkerung nicht mehr ernstlich beachtet werden", — aus Schönberg, „daß die schwächeren Stöße fast zur Alltäglichkeit geworden sind und von der Bewohnerschaft nur noch wenig beachtet werden." Etwas auffälligere Stöße werden gemeldet:

$18^h\,20^m$ aus Brambach,
$18^h\,45^m$ aus Graslitz ein ziemlich kräftiger Stoß,
$20^h\,30^m$ aus Untersachsenberg, Eibenberg,
$20^h\,45^m$ aus Graslitz, Eibenberg und Grünbach,
$21^h\,37^m$ aus Graslitz,
$22^h\,28^m$ aus Brambach,
$22^h\,45^m$ aus Untersachsenberg,

$23^h\,08^m$ aus Graslitz und Brambach,
$23^h\,15^m$ aus Graslitz und Klingenthal,
$23^h\,25^m$ aus Brambach und Klingenthal,
$23^h\,15^m$ bis 24^h aus Graslitz und Eibenberg anhaltendes Erbeben und Donnern.

3. März.

Die Lokalstöße dauern an und häufen sich besonders in der Zeit zwischen $15^h\,45^m$ und $17^h\,30^m$.

$3^h\,55^m$ in Lengenfeld und Nachbarorten,
$6^h\,30^m$ in Markneukirchen kräftiger Stoß,
$7^h\,45^m$ und
10^h in Untersachsenberg leichte Erschütterung,
12^h in Bad Elster dumpfes Donnerrollen,
$12^h\,44^m$ in Rautenkranz und Untersachsenberg etwas stärkere Stöße,
13^h in Graslitz ziemlich heftige Erschütterung,
$13^h\,50^m$ und
$14^h\,10^m$ in Brunndöbra je ein stärkerer Stoß,
$15^h\,45^m$ bis 16^h in Graslitz ein schwacher und ein stärkerer Stoß,
in Untersachsenberg 2 schwache Stöße,
in Brunndöbra 5 etwas stärkere Stöße,
in Brambach mehrere,
in Kottenhaide 4 schwache Stöße,
in Georgengrün bei Reiboldsgrün ein schwacher und direkt darauf ein starker Stoß.

Einer und zwar der intensivste dieser Stöße ist **$15^h\,54^m$** von dem Seismometer zu Leipzig als minimale knopfartige Verdickung der Registrierlinie (Typus 1, S. 427) registriert worden.

17^h in Bad Elster dumpfes Donnerrollen,
$17^h\,30^m$ in Schönberg recht heftige längere Erschütterung,
in Bad Elster schwächerer Stoß,
in Graslitz ziemlich heftige Erschütterung,
18^h in Untersachsenberg,
$18^h\,30^m$ in Graslitz und
$21^h\,30^m$ in Untersachsenberg stärkere Stöße.

Digitized by Google

4. März.

Die Häufigkeit der Stöße vermindert sich, dagegen erhöht sich ihre Intensität und vergrößert sich ihr Verbreitungsgebiet, indem außer aus dem Vogtlande solche aus weitabliegenden, ganz isolierten Orten mit Bestimmtheit gemeldet werden, so aus Oberfrohna im Granulitgebirge, aus Katharinenberg im östlichen Erzgebirge, aus der Gegend von Hof, aus Marktredwitz und Wunsiedel im Fichtelgebirge, aus Grötschenreuth bei Erbendorf in der Oberpfalz, aus Tachau im Böhmerwald, aus Hartenberg südlich von Bleistadt in Nordböhmen. Alle diese Orte aber gehören dem Schüttergebiete der sich am nächsten Tage vollziehenden heftigen Erdbeben an und scheinen somit die ersten Vorläufer der dieses gesamte Areal betreffenden seismischen Vorgänge aufzuweisen.

1^h in Posseck bei Ölsnitz heftiger Stoß, sodaß Betten schwanken und Schläfer erwachen,

$1^h\,45^m$ in Brunndöbra, wenn auch schwache, so doch unheimlich lange Erschütterung,

$2^h\,15^m$ in Treuen ziemlich energische Erschütterung,

6^h in Grötschenreuth bei Erbendorf in der Oberpfalz, aus Tachau im Böhmerwald heftiger Stoß, ebenso in Marktredwitz im Fichtelgebirge, schwächer in Posseck,

11^h in Brambach, Hartenberg bei Bleistadt, Wunsiedel, Hof und Nachbarorte, Arnoldsgrün bei Schöneck mehrere Stöße,

$13^h\,53^m$ und

14^h in Untersachsenberg leichte Stöße,

$14^h\,30^m$ bis 17^h in Schöneck und Arnoldsgrün zahlreiche, rasch aufeinander folgende Erschütterungen,

$17^h\,33^m$ in Graslitz und

$18^h\,50^m$ in Untersachsenberg stärkere Stöße,

$19^h\,20^m$ in Katharinenberg i. Erzgebirge starkes unterirdisches Kollern,

$20^h\,15^m$ in Bad Elster schwache Erschütterung,

22^h in Oberfrohna bei Limbach im Granulitgebirge ziemlich kräftige Erschütterung, welche Schläfer erweckt,

$22^h\,45^m$ in Mühlgrün bei Auerbach schwächerer Stoß,

24^h in Georgengrün erst lautes Donnerrollen, dann leichte Erschütterung.

5. März.

Zu den bebenreichsten und ereignisvollsten Tagen der gesamten diesmaligen seismischen Periode gestalten sich der 5. und 6. März. Bereits kurz nach 1 Uhr in der Frühe des 5. März steigern sich die bis dahin ganz isolierten und meist unbedeutenden Erschütterungen an Zahl und Stärke derart, daß sie sich zu einem geschlossenen Schwarm von schwachen und starken Stößen zusammenscharen, die einen größeren Teil des Vogtlandes in der Zeit zwischen $1^h 40^m$ bis gegen $2^h 15^m$ betreffen und ihn lokal „fast beständig mit nur ganz kurzen Zwischenräumen erschüttern." So wurden in Markneukirchen in diesem unbedeutenden Zeitraume nicht weniger als 14, in Graslitz sogar 30 Stöße gezählt. Der stärkste derselben erfolgte gleich im Beginne dieser Periode besonders intensiver seismischer Erregung, nämlich

$1^h 50^m$. Das pleistoseismische Gebiet desselben umfaßt zunächst den größeren Teil des Vogtlandes zwischen Asch, Brambach, Markneukirchen, Untersachsenberg, Graslitz im Süden und Treuen, Lengenfeld, Auerbach im Norden. Der Herd dieses Bebens dürfte wie bisher im südlichen Abschnitte dieses Areales zu suchen sein, wo sich dasselbe in zum Teil geradezu erschreckender Stärke kundgab. Ein heftiger ruckartiger Stoß weckt die meisten Bewohner von z. B. Asch, Bad Elster, Graslitz, Untersachsenberg, Klingenthal, Schöneck und Markneukirchen aus dem Schlaf; erschreckt fahren sie empor, viele aus den Betten, manche flüchten voller Furcht auf die Straße, andere brennen angsterfüllt Lampen an und bleiben den Rest der Nacht hindurch wach; die Häuser knarren und krachen in ihren Fugen, Türen springen auf, Betten und Möbel wackeln, das Porzellan- und Glasgeschirr klirrt, die Fenster erzittern, Öfen und Türen klappern, Uhren bleiben stehen, Hängelampen pendeln. Das alles wird begleitet von einem außergewöhnlich langen, 10 bis 15 Sekunden anhaltenden Crescendo-Decrescendo-Donnerrollen oder wird gefolgt von solchem und Zittern des Bodens. Hier überall dürfte das Beben den Stärkegrad 6 erreicht haben.

Aber auch weiter im Norden des Vogtlandes äußert sich dieser gewaltige Stoß an einzelnen Orten, so in Lengenfeld, Ellefeld, Auerbach, Falkenstein, fast noch in gleicher Stärke, sodaß von dort ungefähr die nämlichen Wirkungen berichtet werden.

Digitized by Google

Als weniger heftig, aber immer noch als „stark" oder „sehr stark' wird dieser Stoß aus zahlreichen zwischenliegenden Ortschaften des Vogtlandes gemeldet, hat sich aber als solcher auch außerhalb des letzteren im Egerland (in Eger, Königsberg a. Eg., Bleistadt, Hartenberg, Petzschau), in Karlsbad und Nachbarorten, im südwestlichen Erzgebirge (Eibenstock, Schneeberg, Schwarzenberg, Sosa, Bockau) intensiv abgespielt.

Nach Westen zu scheint das Schüttergebiet dieses Bebens nicht weit gereicht zu haben. Bereits aus Plauen wird nur über schwache Stöße und längeres Donnerrollen, aus dem etwa 10 km weiter westsüdwestlich gelegenen Orte Dehles, sowie aus Feilitsch, 12 km westlich von dem stark betroffenen Dorfe Bobenneukirchen, ebenfalls nur über eine schwache Erschütterung berichtet, während aus dem Landstriche im Westen der pleistoseismischen Stadt Asch gar keine Nachrichten eingegangen sind. Nördlich vom Vogtlande hat sich der Stoß von $1^h\,50^m$ makroseismisch noch bis in die Gegend von Crimmitschau, sowie bis in die südliche Randzone des Granulitgebirges (Falken, Langenberg, Rußdorf) schwach bemerklich gemacht.

Im Gegensatze hierzu gewinnt das Schüttergebiet in nordöstlicher Richtung eine außerordentliche Ausdehnung, indem es sich das Erzgebirge entlang in allmählich austönender Stärke im Süden über Neudeck und Abertham, weiter nördlich über Zwönitz, Krottendorf, Weipert, Annaberg, Großhartmannsdorf und Freiberg bis Dresden, also von Graslitz aus gemessen bis zu einer Entfernung von 120 km fortpflanzte. In Zwönitz wird eine wellenförmige Erbebung mit unterirdischem Rasseln wahrgenommen, ebenso in Annaberg, wo jedoch noch einzelne Schläfer durch dasselbe erweckt werden. In Freiberg wird von einem Berichterstatter (Dr. THATE) ein Zittern und Knistern in den Türgewänden, vorher dumpfes Dröhnen beobachtet, — in Dresden und dem benachbarten Weißen Hirsch von einzelnen eine schwankende Bewegung des Hauses gefühlt.

Das makroseismische Schüttergebiet des Stoßes vom 5. März $1^h\,50^m$ hat nach allem dem die Gestalt einer sich von SW nach NO, also im erzgebirgischen Streichen erstreckenden Ellipse, deren Längsachse aus der Gegend von Asch in nordöstlicher Richtung durch das Vogtland und das Erzgebirge über Freiberg nach Dresden verläuft und eine Länge von ungefähr 155 km besitzt,

Digitized by Google

während ihre kürzere Achse zwischen Crimmitschau im NNW und Schneidemühl südlich von Karlsbad im SSO eine Ausdehnung von etwa 80 km erreicht. Im Gegensatz zu den bislang vorherrschenden „chronischen vogtländischen Schüttergebieten“ mit nord-südlicher Längsachse liefert sonach dasjenige des neuesten Bebens ein ausgezeichnetes Beispiel der „vogtländisch-erzgebirgischen Schüttergebiete“ mit west-östlicher bis westsüdwestlich-ostnordöstlicher Längsachse (siehe S. 440) und mit einer das Vogtland weit überschreitenden östlichen Ausdehnung (Tafel I, 4).

Die von dem Leipziger Seismometer aufgezeichneten Seismogramme dieses heftigsten der bisherigen Stöße (vergl. No. 11 der Tabelle S. 527) gestalteten sich, entsprechend diesem seinen Stärkegrade zu ausgezeichneten Repräsentanten des Typus 3. Das in Fig. 14 wiedergegebene Seismogramm der O-W-Komponente zeigt einen scharfen ersten Einsatz, an den sich eine Vorphase von 12,6ˢ Dauer schließt, bestehend aus sehr schwachen Erzitterungen, deren Amplituden von 2 auf 2,8 μ anschwellen. Ziemlich unvermittelt setzt dann die Hauptphase ein und zwar mit Amplituden, die innerhalb der ersten 3 Sekunden bis zu 16,4 μ anwachsen. Diesem 15 Sekunden dauernden ersten Teil von sich deckenden Einzelschwingungen folgen für 6 Sekunden schwächere, aber schon meßbare unregelmäßige Wellen (Übergangsphase), dann eine Gruppe von regelmäßigen Schwingungen mit den längsten Perioden des

Figur 14. O-W-Komponente.

Seismogramm des Erdstoßes vom 5. März 1h 50m 37s.
(Nr. 11 der Tabelle.)

Digitized by Google

ganzen Seismogrammes (1,2 Sekunden) und mit sich wieder auf 4,5 μ vergrößernden Amplituden. Als Schlußteil der Hauptphase folgen für 15 Sekunden unregelmäßige immer noch meßbare Wellen, bis diese in die Endphase übergehen.

Auch bei der N-S-Komponente ist der erste Einsatz scharf. Die ganze Vorphase besteht aus sich ziemlich gleichbleibenden, sehr kurzperiodigen 2 μ weiten Schwingungen, dann schwellen die Amplituden der Ausschläge zum ersten Teile der Hauptphase bis auf 9 μ an. Ihnen folgt ebenfalls eine Periode von unregelmäßigen Schwingungen, die schon meßbar werden, aber gegenüber der O-W-Komponente weniger deutlich hervortreten, an welche sich, wie bei letzterer die den zweiten Teil der Hauptphase bildenden, 4 μ weiten Schwingungen anreihen.

Die sich an diesen Hauptstoß innerhalb eines Zeitraumes von etwa 25 Minuten anschließenden Stöße von meist geringerer, zum Teil aber auch nicht unbedeutender Stärke, deren Anzahl sehr verschieden angegeben wird, breiten sich nicht über das vogtländisch-egerländische Schüttergebiet aus. Nur einer derselben, der letzte und zugleich stärkste, der sich

2^h 14^m vollzog, hat sich im Erzgebirge bis zu größerer Entfernung fortgepflanzt, sich lokal bis nach Schwarzenberg und dessen nördliche Nachbarschaft (Grünhain) fühlbar gemacht und ist in Leipzig als Seismogramm vom Typus 2 (siehe Seite 427) registriert worden (vergl. No. 12 der Tabelle S. 527).

Von da ab bis gegen 11 Uhr Vormittags lassen, wie dies nach allen bisherigen Hauptstößen als Regel gelten konnte, die seismischen Erscheinungen an Zahl und Kraft auffällig nach, sodaß aus diesem Zeitabschnitt nur über folgende Lokalstöße berichtet wurde, die sich sämtlich im engeren Schüttergebiete des Vogtlandes abspielen:

3^h 54^m in Hammerbrücke ein etwas stärkerer Stoß,
5^h in Roßbach schwacher Stoß, in Georgengrün lautes unterirdisches Donnerrollen,
6^h in Posseck b. Adorf kurzer Stoß,
7^h 10^m in Georgengrün, Schöneck, Reiboldsgrün ein mittelstarker Stoß, der die Fenster klappern macht.

Erst kurz vor 11 Uhr beginnt sich die seismische Tätigkeit von neuem, und zwar wiederum auf der chronischen Schütterzone Asch-Brambach-Schönberg-Graslitz-Klingenthal, zu beleben

Digitized by Google

und sich von da ab sprungweise immer mehr zu steigern, um das Maximum ihrer Intensität in den beiden gewaltigen Beben am Abend desselbigen Tages zwischen h 21 und 22 und in dem ebenso heftigen Stoße h 6 des nächsten Morgens zu erreichen. Die ihnen vorangehende zweite Periode in der Reihe der Erschütterungen des 5. März hat ihre Ausgangsstellen in den Endpunkten der genannten Zone, in der Brambacher und Graslitzer Gegend, und verläuft wie folgt:

$10^h\,46^m$ in Brambach schwacher Stoß,

$11^h\,10^m$ in Graslitz und Eibenberg etwas stärkerer, in Brambach und Klingenthal schwacher Stoß,

$11^h\,40^m$ erfolgt ein Stoß, der den größten Teil des Vogtlandes zur Erschütterung bringt und über den berichtet wird aus: Asch, Grün, Brambach, Fleißen, Schönberg, Ölsnitz, Tirpersdorf, Bleistadt, Graslitz, Klingenthal, Untersachsenberg, Brunndöbra, Kottenhaide, Morgenröthe, Rautenkranz und Georgengrün. In der Mehrzahl der aufgezählten Orte äußert sich dieser Stoß ziemlich kräftig. Sein Schüttergebiet ist ein der chronischen vogtländischen Gruppe angehöriges (vergl. Taf. I, 2). Seine in Leipzig registrierten Seismogramme (Nr. 13 der Tabelle) sind durch Pulsationen und chronische Tagesstörungen stark beeinträchtigt.

$12^h\,05^m$ und

$12^h\,07^m$ finden 2 Stöße statt, die bei der Berichterstattung nur z. T. getrennt gehalten wurden. Ihr Stärkegrad ist ungefähr der gleiche wie der des vorigen Stoßes; dasselbe gilt von den durch sie in Leipzig aufgezeichneten Seismogrammen (Nr. 14 und 15 der Tabelle), sowie von ihrem Schüttergebiete, dem nach den vorliegenden Meldungen u. a. angehören die Orte: Asch, Schönberg, Brambach, Frankenhammer, Bad Elster, Kottenhaide, Zwota, Klingenthal, Graslitz, Muldenberg und Georgengrün.

Die nächsten Stöße sind nur lokaler Natur und verteilen sich innerhalb des chronischen Schütterareales wie folgt:

$12^h\,42^m$ in Graslitz stärkerer, in Grünbach, Schöneck, Muldenberg schwächere Stöße,

Digitized by Google

$13^h\,55^m$ in Schönberg stärkerer, in Bad Elster leichter Stoß,
$14^h\,05^m$ schwächerer Stoß in Schönberg, Brambach, Fleißen, Bad Elster, Untersachsenberg, Bärenwalde,
$15^h\,05^m$ ebenso in Untersachsenberg, Kottenhaide und Falkenstein, ferner in Bockau, Albernau und Sosa östlich von Eibenstock,
$15^h\,30^m$ in Asch ziemlich kräftiger Stoß.
$15^h\,52^m$ erfolgt ein kräftiger Stoß, der sich im südlichen Areale des chronischen vogtländischen Schüttergebietes ziemlich energisch fühlbar macht und aus den Orten Schönberg, Brambach, Fleißen, Roßbach, Bad Elster, Kottenhaide und Klingenthal gemeldet wird. Seine in Leipzig registrierten Seismogramme (Nr. 16 der Tabelle) gehören dem Typus 1 an und bestehen auf der O-W-Komponente aus einer knopfartigen Verdickung, auf der N-S-Komponente aus einer mehr in die Länge gezogenen Anschwellung der Registrierlinie, geben also ähnliche Bilder wie Fig. 12 und 13 S. 445.
$16^h\,20^m$ in Brambach und Kottenhaide schwacher Stoß, ebenso
$16^h\,30^m$ in Brambach und Georgengrün, sowie
$16^h\,47^m$ in Schönberg, Brambach und Grünbach, — in Graslitz hingegen stärkerer Stoß.
$16^h\,49^m$ ein Stoß, der mindestens den Stärkegrad 4 erreicht und das ganze chronische vogtländische Schüttergebiet in Bewegung setzt (vergl. Tafel I, 2). Berichte über denselben liegen vor aus Schönberg, Asch (3 rasch aufeinander folgende Stöße), Brambach, Bad Elster, Roßbach, Markneukirchen, Frankenhammer, Hirschenstand, Klingenthal, Zwota, Brunndöbra, Kottenhaide, Schöneck, Wilzschhaus, Reiboldsgrün, Auerbach, Rebesgrün. Die zum Typus 2 zu rechnenden Leipziger Seismogramme dieser Erschütterung (Nr. 17 der Tabelle) sind durch Tagesstörungen stark beeinflußt. Der erste Teil der Hauptphase ist bei beiden Komponenten als starke Anschwellung deutlich erkennbar; nach dieser gewinnen die Perioden der Erzitterungen etwas an Länge, ohne daß eine scharfe Abgrenzung derselben möglich wäre.
$17^h\,40^m$ in Schönberg und Roßbach schwacher Stoß,
$17^h\,51^m$ heftiger Stoß mit chronischem vogtländischem Schütter-

Digitized by Google

gebiet, dessen südlicherer Teil mit folgenden Orten besonders stark betroffen wird: Schönberg, Brambach (2 Stöße), Asch, Grün, Bad Elster, Ölsnitz, Tirschendorf, Grünbach, Zwota, Eibenberg, Graslitz, Wilzschhaus, Rautenkranz; in Rebesgrün lautes unterirdisches Donnern. Die Leipziger Seismogramme dieses Stoßes (Nr. 18 der Tabelle) stimmen vollkommen mit denen des vorigen ($16^h\,49^m$) überein.

$18^h\,17^m$ in Bad Elster leichte Erschütterung, ebenso

$19^h\,05^m$ in Zwota, Roßbach und Bad Elster; stärkerer Stoß in dem ganz isoliert und weit entfernt im Böhmerwald gelegenen Orte Pfraumberg,

$19^h\,12^m$ schwache Stöße in Asch, Rautenkranz, Wilzschhaus, Georgengrün,

$19^h\,25^m$ in Brambach starker Stoß, in Graslitz 2 mittelstarke Stöße,

$19^h\,34^m$ schwache Stöße in Graslitz, Klingenthal, Rautenkranz, Bad Elster,

$19^h\,47^m$ in Schönberg, Brambach, Asch, Grün, Markneukirchen, Graslitz, Eibenberg, Zwota, Georgengrün stärkerer Stoß mit chronischem vogtländischem Schüttergebiet; ferner schwache Stöße:

20^h in Asch,

$20^h\,08^m$ in Graslitz, Schöneck, Rautenkranz,

$20^h\,30^m$ in Tirpersdorf, Georgengrün, Rautenkranz,

$20^h\,50^m$ in Bad Elster, Markneukirchen, Rautenkranz,

$20^h\,55^m$ in Bad Elster und Grün.

Nun aber erfolgen

$21^h\,37^m$ und

$21^h\,55^m$ zwei gewaltige Stöße, die den Stärkegrad 6 noch übersteigen und wohl fast den Grad 7 erreicht haben müssen, demnach alle vorhergehenden, auch den von $1^h\,50^m$ des selbigen Tages an Kraft und deshalb auch an Ausdehnung ihres Schüttergebietes (vergl. Tafel I, 5) übertreffen.

Das Epizentralgebiet derselben. Ihr Herd liegt in dem epizentralen Gebiete dieser letzten, sowie aller früheren vogtländisch-egerländischen Erdbeben, nämlich in der Tiefe des Landstriches, der sich in etwa 30 km nordöstlicher, also erzgebirgischer Längserstreckung zwischen Schönberg, Brambach, Asch, Bad Elster,

Digitized by Google

Adorf, Markneukirchen, Zwota, Kottenhaide, Untersachsenberg, Schwaderbach und Graslitz ausdehnt. Mit welcher Energie sich beide Stöße hier geäußert haben, geht, ganz abgesehen von den gewöhnlichen, aber diesmal in hohem Grade gesteigerten Schüttererscheinungen, aus ihrem Einfluß auf den Gemütszustand der Bewohner selbst hervor. In fast allen Orten dieses Gebirgsabschnittes werden die Einwohner aus dem Schlafe geschreckt und geraten in Aufregung und Furcht. Der Mehrzahl derer, die während dieser Stöße „auf dem schwankenden Boden standen oder in den auf- und abgehobenen Betten lagen und sich in den knarrenden, bebenden, prasselnden Gebäuden befanden" (Zeitungsbericht) bemächtigte sich Angst und Schrecken, welche durch das begleitende starke, z. T. „geradezu furchtbare Geräusch" noch vermehrt wurden, das lokal wie das Getöse unterirdischer Explosionen oder wie Kanonenschüsse, anderorts wie Donnerrollen oder wie wildes Brüllen ertönte.

In Graslitz, Untersachsenberg, Brunndöbra, Kottenhaide, Markneukirchen, Adorf und Asch liefen viele Leute erschreckt durch das „Knirschen der Mauern und das Ächzen der Balken" entsetzt und z. T. nur notdürftig bekleidet aus den Häusern, die in allen Fugen krachten, auf die Straße, manche trauten sich nicht mehr in ihre Wohnstätten zurück und hielten sich noch lange oder während der ganzen Nacht im Freien auf.

Wiederholt wird die Beobachtung berichtet, daß Häuser, welche direkt auf festem Fels stehen, jene Erschütterungen viel heftiger erfahren haben, als solche auf dem Schwemmland. Die Nachrichten aber, daß durch diese Stöße in einzelnen Häusern klaffende Spalten aufgerissen, daß ferner Mauern und locker liegende Felsblöcke umgeworfen worden seien, beruhen, wie sich gezeigt hat, auf Irrtum.

Die pleistoseismische Schütterzone. In einem etwas geringeren Grade, aber immer noch erschreckend stark, werden die sich an das oben skizzierte epizentrale Gebiet im Norden anschließenden Teile des Vogtlandes über Ölsnitz, Schöneck, Falkenstein, Ellefeld, Karlsfeld, Morgenröthe, Rautenkranz, Wilzschhaus, Georgengrün, Auerbach, Plauen, Jocketa, Treuen, Lengenfeld, Kirchberg, Weißbach und Kulitzsch bis Zwickau, Lichtentanne und Greiz von beiden

Digitized by Google

Stößen betroffen, wobei bald deren erster, bald deren zweiter als der stärkere empfunden wurde. Selbst in der etwa 35 km von der Epizentralzone entfernten Stadt Greiz waren die Erbebungen noch so kräftig, daß sie ganz allgemein bemerkt wurden und durch ihre Heftigkeit großen Schrecken bereiteten.

In östlicher und nordöstlicher Richtung pflanzten sich beide Stöße in ebenfalls noch beträchtlicher Stärke auf das Erzgebirge über Eibenstock, Bockau, Sosa, Aue, Thum und Schwarzenberg bis nach der Gegend von Buchholz und Annaberg und über Hirschenstand, Neudeck, Johanngeorgenstadt, Weipert und Böhmisch Wiesenthal am Fichtelberge bis Preßnitz fort. Während sich in Annaberg beide Stöße beträchtlich abgeschwächt hatten und sich nur noch in über alten Stollen stehenden Häusern mit größerer Kraft äußerten, betätigte sich in der etwa 45 km vom Graslitz-Untersachsenberger Epizentrum gelegenen Stadt Preßnitz von beiden Stößen der zweite, also der von $21^h\,55^m$, noch so heftig, daß er allgemein bemerkt wurde, daß Möbel, Öfen und Lampen schwankten und Gläser klirrten, daß sich einzelne Bewohner rasch emporgehoben und geschüttelt fühlten und viele ins Freie eilten.

Im Süden der epizentralen Zone machten sich die Stöße von $21^h\,37^m$ und $21^h\,55^m$ in entsprechender Stärke innerhalb des Egerlandes in Karlsbad, Bleistadt, Falkenau, Königsberg, Franzensbad und Eger, ferner in Waldsassen geltend. Nach Westen breiteten sie sich in ähnlichen, naturgemäß nach außen abnehmenden Stärkegraden über Roßbach, Posseck, Regnitzlosau, die Gegend von Hof, über Bobenneukirchen, Mißlareuth, Tanna, Schleiz, Hirschberg a. S., Naila, Lichtenberg, Sparnberg, Göttengrün bis über die Saale in die Gegend von Lobenstein, Wurzbach, Lehesten und Ludwigstadt aus und besaßen selbst noch in Oppurg, Pößneck und Rudolstadt eine ziemliche Energie. Nach Südwesten durcheilen die seismischen Wellen, gleichfalls sich nach außen abschwächend den Frankenwald und das Fichtelgebirge über Rehau, Selb, Kirchenlamitz, Münchberg, Wunsiedel, Markt-Redwitz, Berneck, Kulmbach und Kronach.

Man kann sonach das gesamte oben umgrenzte Areal des Vogtlandes, des südwestlichen Erzgebirges, des Egerlandes, des nördlichsten Böhmerwaldes, Fichtelgebirges und des Franken-

Digitized by Google

waldes als pleistoseismisches Gebiet der beiden Erdbeben von $21^h 37^m$ und $21^h 55^m$ des 5. März dem übrigen, mehr peripherischen Schüttergebiete gegenüberstellen. Freilich und naturgemäß ist seine Abgrenzung gegen dieses letztere, ebenso wie diejenige gegen das epizentrale Areal keine auch nur einigermaßen exakte. Die Hauptursachen dieser Unsicherheit sind die gewöhnlichen. Einerseits entspricht sie der allmählichen Abschwächung der sich vom Zentrum und Epizentrum ausbreitenden Erdbebenwellen, andererseits beruht dieselbe auf der subjektiven Bewertung der seismischen Äußerungen von seiten der mehr oder weniger gegen letztere empfindlichen Beobachter, endlich stehen mir aus dem Frankenwald und Böhmerwald keine ausreichenden Unterlagen zu Gebote, um hier eine Abgrenzung des pleistoseismischen Gebietes gegenüber demjenigen geringfügigerer Erschütterung ausführen zu können.

Über die erstgenannte Zone hinaus pflanzten sich die durch die beiden Stöße $21^h 37^m$ und $21^h 55^m$ erzeugten Wellen über einen weiten Hof von allmählich an Energie abnehmenden Schüttererscheinungen fort, um endlich auszutönen. In dieser peripheren Zone wird infolge der schließlich sehr geringen Schütterstärke der Erbebungen die Zahl der Beobachtungsorte immer sporadischer, Berichte laufen nur noch spärlich ein und sind oft nur mit großer Mühe zu ergänzen, weil bloß günstige Zufälle die Wahrnehmung der Erschütterungen ermöglicht haben. Trotzdem werden dann die letzteren zuweilen noch als so kräftig geschildert, daß solche Orte die äußerste Grenze des makroseismischen Schüttergebietes noch nicht, sondern nur diejenige der eingegangenen Berichterstattung bezeichnen können.

Die nördliche und nordöstliche Grenzzone der beiden Beben am Abend des 5. März. In der Richtung nach N und NNO breiteten sich die Wellen beider Stöße über das erzgebirgische Becken (Werdau, Crimmitschau, Glauchau, Chemnitz, Frankenberg), über das Altenburger Land und das Granulitgebirge (Waldenburg, Burgstädt, Penig, Lunzenau, Rochlitz, Mittweida, Waldheim, Roßwein) bis Grimma und rein nördlich über das Flachland südlich und südwestlich von Leipzig (Störmthal, Eisdorf, Schkeitbar, Schkölen) bis nach Leipzig selbst aus. Hier werden diese Beben nur von ganz wenigen Bewohnern der ruhigeren Vororte Lindenau, Gohlis und Eutritzsch wahr-

Digitized by Google

genommen und zwar als schaukelnde Bewegungen des Fußbodens und der Betten, wobei Lampenzylinder und Öfen leise klirren, Nippes auf den Marmorplatten schwach klappern und ein dumpfes Rasseln hörbar wird, — Erdbebenwirkungen, wie sie etwa für den Stärkegrad 2 charakteristisch sind. Auch in dem 7 km östlich vom Weichbilde Leipzigs gelegenen Dorfe Panitzsch machen sich beide Beben auf gleiche Weise merklich und hörbar.

Der nächste östliche Beobachtungsort nahe der Nordgrenze des Schüttergebietes ist die Stadt Grimma, wo hier und dort durch jedes der beiden Beben Tische, Stühle und Betten in ruckweise Bewegung gesetzt werden (Stärkegrad 3). Weiter im Osten bezeichnen die Städte Döbeln und Meißen das makroseismische Grenzgebiet. In Döbeln und seiner weiteren Nachbarschaft wird, wenn auch nur von wenigen, sowohl die erste, als auch die zweite Erschütterung als leichte Bewegung der Betten, schwaches Erzittern des Hauses und Gläserklirren bemerkt, wozu sich unterirdisches Donnerrollen gesellt.

Von ihrem Ausgangsgebiete nach Nordosten durchziehen die makroseismischen Wellen beider Stöße auf dem Kamm und dem böhmischen Absturze des Erzgebirges und dann in der linkselbischen sächsischen Schweiz die Flußgebiete der Flöha, Freiberger Mulde, Weißeritz, Müglitz, Gottleuba und Biela mit den Hauptorten Sebastiansberg, Katharinenberg, Marienberg, Olbernhau, Sayda, Lengefeld, Augustusburg, Freiberg, Tharandt, Dresden, Dohna, Pirna, Königstein und Krippen, ebenso aber auch die nordböhmische Abbruchzone des Erzgebirges mit den Orten Kaaden, Radonitz, Komotau, Eidlitz, Brüx, Hochpetsch, Bilin, Teplitz, Außig und Bodenbach-Tetschen.

Nur zwischen den beiden letztgenannten Städten überschreiten die Erdbebenwellen das Tal der Elbe um 8 bis 10 km, nämlich bis Bensen am Polzen, während an keiner Stelle unterhalb Tetschens bis jenseits Dresdens eine Nachricht erlangt werden konnte, nach welcher die seismischen Erschütterungen sich auch rechts des Elbtales bemerklich gemacht hätten. Sämtliche Orte, aus denen im Bereiche des letzteren Erdbebenberichte eingegangen sind, liegen vielmehr falls rechts des Elbstromes auf oder direkt an dessen Talsohle. Dies gilt von Schmilka oberhalb und Wendischfähre unterhalb Schandau, von Copitz, Pillnitz, Niederpoyritz, Wachwitz, Dresden-Neustadt, Niederlöß-

Digitized by Google

nitz, Kötzschenbroda und Zitzschewig. Der einzige Ausnahmefall, Waltersdorf bei Schandau, ist nur ein scheinbarer, indem dieser Ort dem Gehänge der die Elbschlinge um den Lilienstein abschneidenden, hochgelegenen, diluvialen Talstrecke der Elbe aufgesetzt ist.

Keinesfalls aber haben die Wellen die Große Lausitzer Dislokation überschritten, die sich dem Elbtal ungefähr parallel von SO nach NW zieht, sich also den von SW kommenden seismischen Wellen entgegenstellte und deren weiteres Fortschreiten hemmte. Ja, sie scheint dieselben sogar zurückgeworfen zu haben, woraus es sich erklären würde, daß sich an der Mehrzahl dieser äußersten nordöstlichen Grenzpunkte die Erschütterungen mit größerer Energie offenbarten als in der westlich hinter ihnen liegenden Zone, welche die Wellen bereits durchschritten hatten. So werden in Tetschen, Schmilka, Pirna, Copitz, Dohna und Kötzschenbroda bald durch den ersten, bald durch den zweiten der beiden Stöße die Betten ziemlich stark, zum Teil so lebhaft geschaukelt, daß Schläfer erwachen; Möbel und Bilder werden bewegt, Geschirr und Gläser ins Klappern und Menschen in Schrecken versetzt. Auch in Dresden und seinen Vor- und Nachbarorten machen sich lokal wellenförmig schaukelnde Bewegungen des Fußbodens in dem Maße geltend, daß, ganz abgesehen von den übrigen leichteren Schütterwirkungen, Stühle hin und her geschoben werden.

Die nordwestliche und westliche Grenzzone. Wenden wir uns wieder zurück nach Leipzig, so läßt sich von hier aus die nordwestliche und weiterhin die westliche Grenzregion des Schüttergebietes verfolgen über die Gegend von Lützen (Schkeitbar, merkliche Erschütterung des Hauses und mit ihm des Bettes des Beobachters), Teuchern (Erzittern des Hauses, dumpfes Rollen), Naumburg (Fußboden schüttert, Fenster klirren, Hängelampen pendeln), Freyburg a. U. (Öfen und Fenster klirren), Apolda nebst den benachbarten Sulzbach und Döbritzschen (sehr leichte Erschütterung des Hauses, Fußboden und Türen vibrieren, dumpfes Geräusch), Weimar, Erfurt, Zella, St. Blasien, Hildburghausen, Eisfeld, Koburg, Lichtenfels und Staffelstein (überall sehr schwache Erschütterung oder selbst nur rollendes unterirdisches Getöse) bis nach Bamberg. An allen diesen Orten machten sich jedoch nur die Wirkungen einer einzigen Erdbeben-

bewegung bemerklich, von der es bei der Unbestimmtheit der Zeitangaben dahingestellt bleiben muß, ob sie von dem ersten oder dem zweiten der hier in Betracht kommenden beiden Stöße herrührt.

Die südliche Grenze des Schüttergebietes erstreckt sich nach mir freundlichst von Herrn Dr. med. BRUNHUBER in Regensburg zu Gebote gestellten Aufzeichnungen[1]) von Bamberg aus in südsüdöstlicher Richtung östlich von Nürnberg vorüber über Neumarkt bis zur Donau, welche sie bei Regensburg überschreitet, um sich unterhalb der Stadt Straubing wieder über dieselbe zurück und nach N zu wenden. Die auf solche Weise umgrenzten südlichsten Striche des Schüttergebietes umfassen Oberfranken (z. B. mit Bayreuth) und die Oberpfalz mit dem nördlichen Abschnitte des Böhmerwaldes und den Hauptorten Marienbad, Mähring, Mitterteich, Tirschenreuth, Bärnau, Falkenberg, Tachau, Flößenburg, Weiden, Vohenstrauß, Waidhaus, Eslarn, Schönsee, Schwandorf, Waldmünchen und Burglengenfeld.

Der Verlauf der Schüttergrenze von Straubing an der Donau nach N durch den südlichen Böhmerwald und das sich diesem anschließende böhmische Gelände ist wegen Mangels an Beobachtungsmaterial nicht zu fixieren. Erst von ungefähr Mies aus scheint sich dieselbe nach einer mir gütigst durch Herrn Stadtgeolog KNETT in Karlsbad übermittelten Kartenskizze[2]) jenseits des Tepler Hochlandes und des Duppauer Gebirges in nordöstlicher Richtung nach Podersanka und von hier aus nach Lobositz bei Leitmeritz zu ziehen, um dort die Elbe zu überschreiten und jenseits derselben bei Bensen die elbtalgebirgische östliche Grenzlinie (s. S. 465) zu erreichen. Auch nach gefälliger brieflicher Mitteilung des Prager Erdbebenreferenten, Herrn Prof. Dr. WOLDŘICH, sind die beiden Hauptstöße am Abend des 5. März weder in Pilsen, noch in Prag verspürt worden.

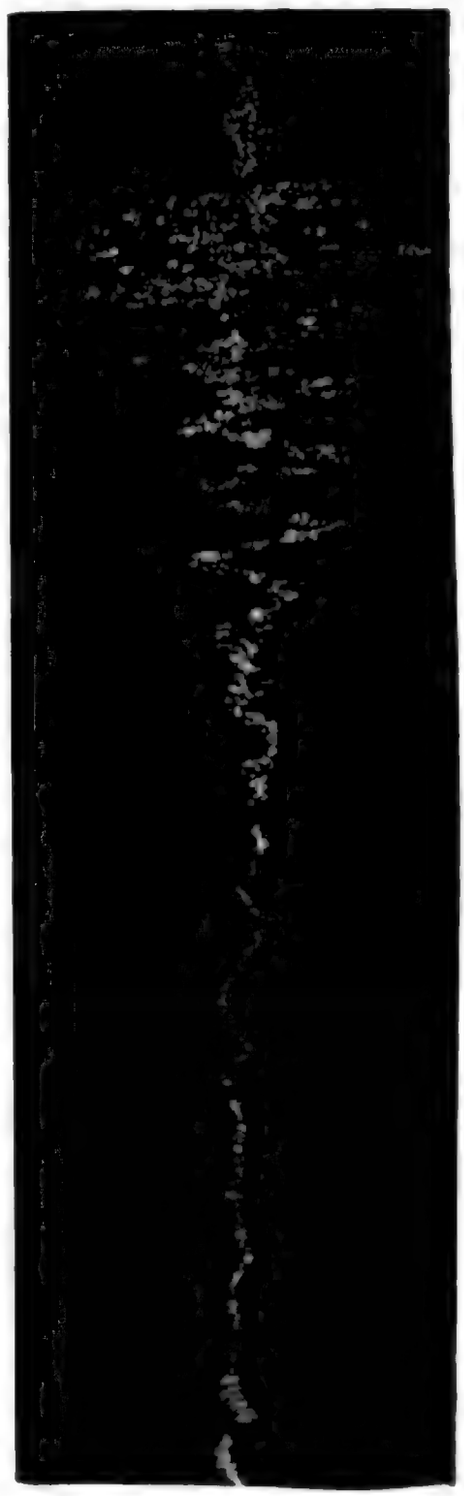
1) Unterdessen von ihm publiziert: A. BRUNHUBER, Zwei Erdbeben im Gebiete der Oberpfalz. Ber. d. naturwiss. Vereins zu Regensburg IX. 1901 u. 1902. — Gleiches gilt von J. REINDL, Beiträge zur Erdbebenkunde von Bayern. Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. Kgl. Akad. d. Wiss. München XXXIII. 1903. S. 190 und Erdbeben am 5. u. 6. März 1903 etc. Geogn. Jahreshefte. München 1903. S. 1.

2) Inzwischen publiziert: J. KNETT, Vorläufiger Bericht über das erzgebirgische Schwarmbeben 1903 usw. Mitt. der Erdbeben-Kommission zu Wien. No. XVI. 1903.

Digitized by Google

Gestalt und Größe des Schüttergebietes. Das durch die oben durchgeführte Abgrenzung abgehobene makroseismische Schüttergebiet der Stöße $21^h 37^m$ und $21^h 55^m$ stellt eine unregelmäßige Kreisfläche dar, welche das gesamte links der Elbe gelegene Areal des Königreichs Sachsen, den östlichen, größeren Teil der Thüringischen Staaten sowie Oberfrankens, ferner die Oberpfalz, sowie den Nordwesten Böhmens in sich begreift. Die beträchtlichste Abweichung von der Kreisgestalt erfährt diese Fläche in ihrer südöstlichen Umrandung durch den hier ein Segment des Kreises abschneidenden Verlauf der Schüttergrenze innerhalb Böhmens.

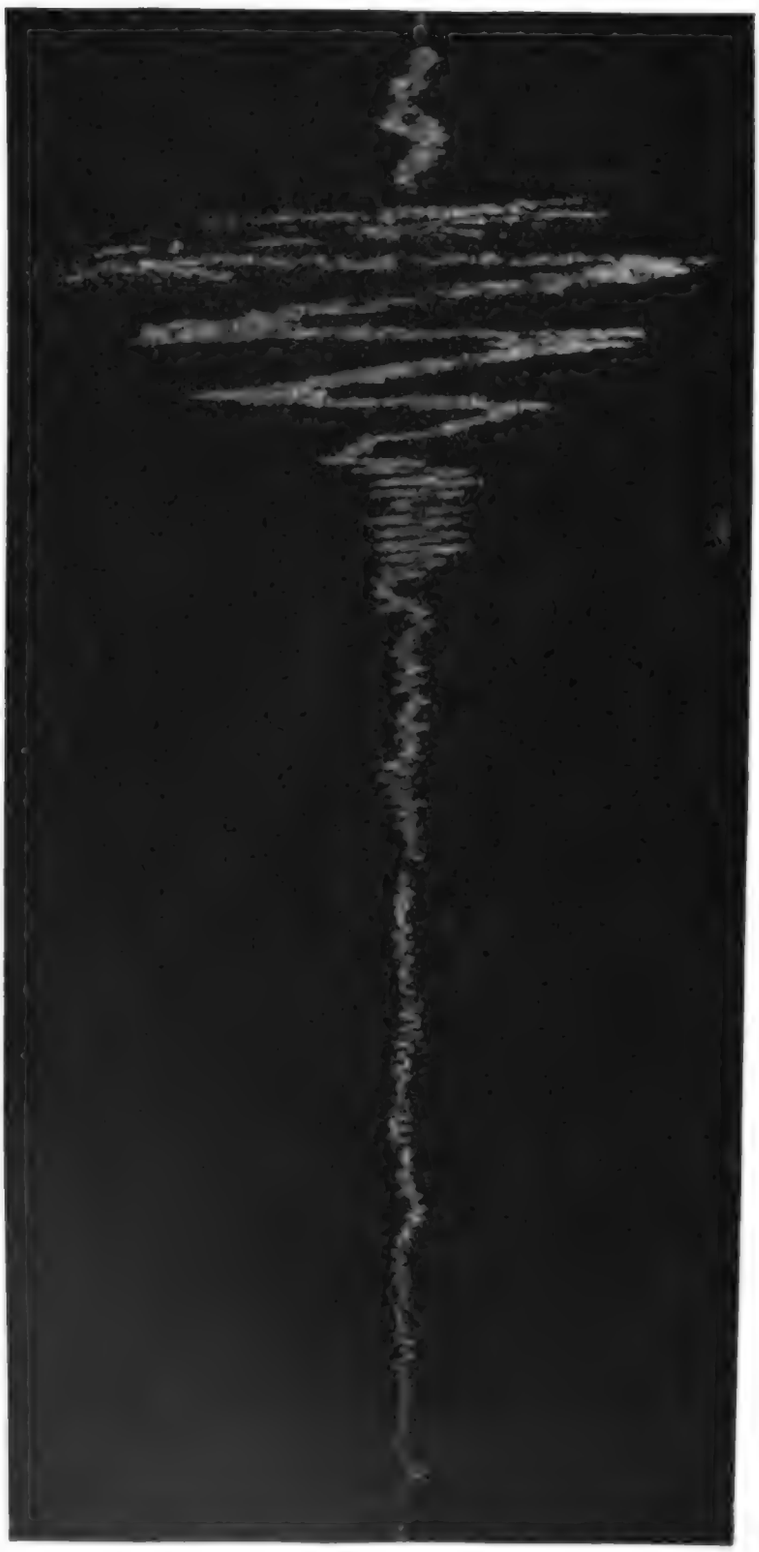
Der nord-südliche Durchmesser dieses Schüttergebietes verbindet Leipzig mit Straubing an der Donau und besitzt eine Länge von 280 km, seine west-östliche Achse zwischen Zella-St. Blasien im Thüringer Wald und Bensen bei Tetschen eine solche von 260 km.



Figur 15. N-S-Komponente.

Seismogramm des Hauptstoßes vom 5. März $21^h 37^m 23.5^s$, sowie des ihm $21^h 39^m 31^s$ folgenden leichten Erdstoßes.
(Nr. 19 und 20 der Tabelle.)

Die Seismogramme beider Beben. Der hohe Stärkegrad dieser beiden Stöße spiegelt sich in ihren Leipziger Seismogrammen wieder, welche die größten seismogrammatischen



Figur 16. **O-W-Komponente.**

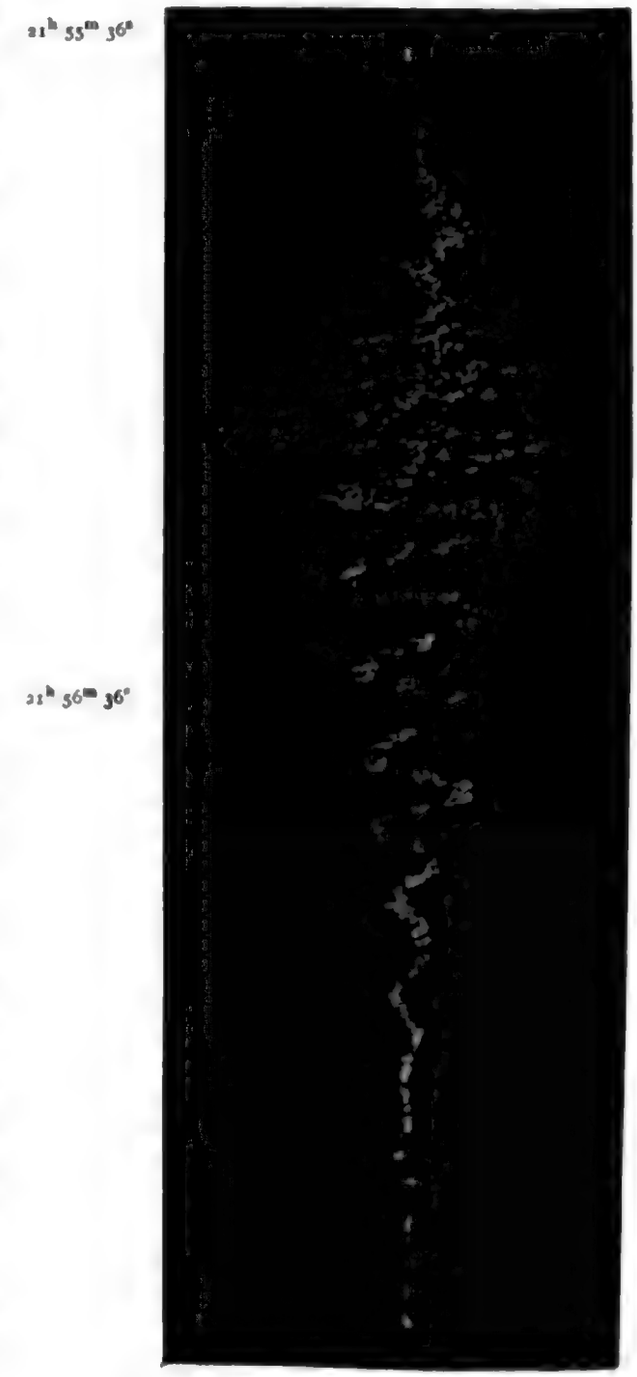
Seismogramm des Hauptstoßes vom 5. März 21h 37m 23.5s, sowie des ihm 21h 39m 31s folgenden leichten Erdstoßes.

(Nr. 19 und 20 der Tabelle.)

Maße dieses Erdbebenschwarmes in sich verkörpern und ausgezeichnete Repräsentanten des Typus 3^b (S. 426) liefern.

Digitized by Google

Erster Hauptstoß. Bei der N-S-Komponente (Figur 15) vollzieht sich der erste Einsatz $21^h\,37^m\,23{,}5^s$ sehr scharf mit 3,2 μ großer Amplitude. Ihm folgt eine 13,2 Sek. lange Vorphase, zusammengesetzt aus sich gegenseitig randlich deckenden Schwingungen, deren Amplituden bis zu 5,2 μ anschwellen. Durch die Minutenmarkierung unterbrochen setzt ganz unvermittelt die Hauptphase ein. Ihre Amplituden zu messen ist kaum möglich, da der Schreibstift keine kontinuierlichen Bewegungen gemacht hat, sondern gehüpft ist; doch dürften die Amplituden der ersten und größten Schwingungen 22 μ erreichen. Durch dieselben ist das Pendel in langperiodige Eigenschwingungen versetzt worden, denen sich die kurzperiodigen seismischen Schwingungen überordnen, wodurch die seismogrammatische Linie doppelt gesägt erscheint. Im weiteren Verlaufe erkennt man, daß die Perioden der Schwingungen zunehmen und diese ganz allmählich in die Endphase verlaufen, bis



Figur 17. N-S-Komponente.
Seismogramm des Hauptstoßes vom 5. März $21^h\,55^m\,49^s$.
(Nr. 21 der Tabelle)

$21^h\,39^m\,31^s$ die Hauptphase eines zweiten aber wesentlich schwächeren Stoßes vom Typus 1 aufgezeichnet wird, bei dem die sich randlich deckenden

Schwingungen im Höchstfalle 2,8 μ große Amplituden besitzen. Berichte aus dem Vogtlande über diesen leichteren Stoß liegen nicht vor, da augenscheinlich dessen Wirkungen zwischen denen der beiden unmittelbar vorausgehenden und folgenden erschreckend starken Stöße verloren gegangen sind.

Fig. 18. O-W-Komponente.

Seismogramm des zweiten Hauptstoßes vom 5. März $21^h\,55^m\,49^s$.
(Nr. 21 der Tabelle.)

Die Aufzeichnung der O-W-Komponente des ersten Hauptstoßes (Figur 16) ist weniger durch Eigenschwingungen des Pendels gestört, als die der N-S-Komponente und infolgedessen zu Messungen geeigneter. Die kurzperiodigen Ausschläge der Vorphase schwellen von 2,4 bis 5,2 μ Amplitude an. Die Hauptphase setzt mit 28 μ weiten Schwingungen ein, welche das Pendel zu Eigenschwingungen zwingen, die aber infolge stärkerer Dämpfung dieser Komponente bereits nach 24 Sekunden verschwinden, worauf die schöngezeichnete zweite Abteilung der Hauptphase, diejenige der langperiodigen Ausschläge beginnt, etwa 12 Sekunden andauert, sich aus Schwingungen von 10 μ Amplitude und 1,5" Periode zusammensetzt, um allmählich in die Endphase überzuführen, innerhalb deren die Wellen unregelmäßig werden und an Amplitudenweite und an Periodenlänge verlieren. Der leichte Stoß

$21^h\,39^m\,31^s$ ist auch auf dieser Komponente registriert und besitzt hier Amplituden von 2,4 μ Weite.

Die Seismogramme des zweiten Hauptstoßes

$21^h\,55^m$ gehören ebenfalls dem Typus 3^b an, ähneln in hohem Grade den Seismogrammen von $21^h\,37^m$, was mit der ungefähr gleichen Herkunft und Intensität und der deshalb fast gleichen Ausdehnung der Schüttergebiete beider Stöße in Übereinstimmung steht und aus dem Vergleiche umstehender Abbildungen durch Figur 15 bis 18 sowie der Zeit- und Maßzahlen in No. 19 und 21 der Tabelle auf Seite 527 einleuchtet. An dieser Stelle sei nur hervorgehoben, daß der erste Einsatz $21^h\,55^m\,49^s$ stattgefunden hat, daß die Hauptphase $21^h\,56^m\,2^s$ einsetzte und sich deutlich in 2 Abschnitte gliedert, deren zweiter wiederum aus 8 langperiodigen Schwingungen mit bis 7 μ großen Amplituden besteht, und daß die seismogrammatische Aufzeichnung eine Gesamtdauer von 164 Sek. besitzt.

Die seismische Energie, welche sich in diesen beiden gewaltigen Beben kundgegeben hat, äußert sich von nun ab in verminderter Stärke aber mit sprungweiser Neubelebung bis in die frühesten Morgenstunden des 6. März.

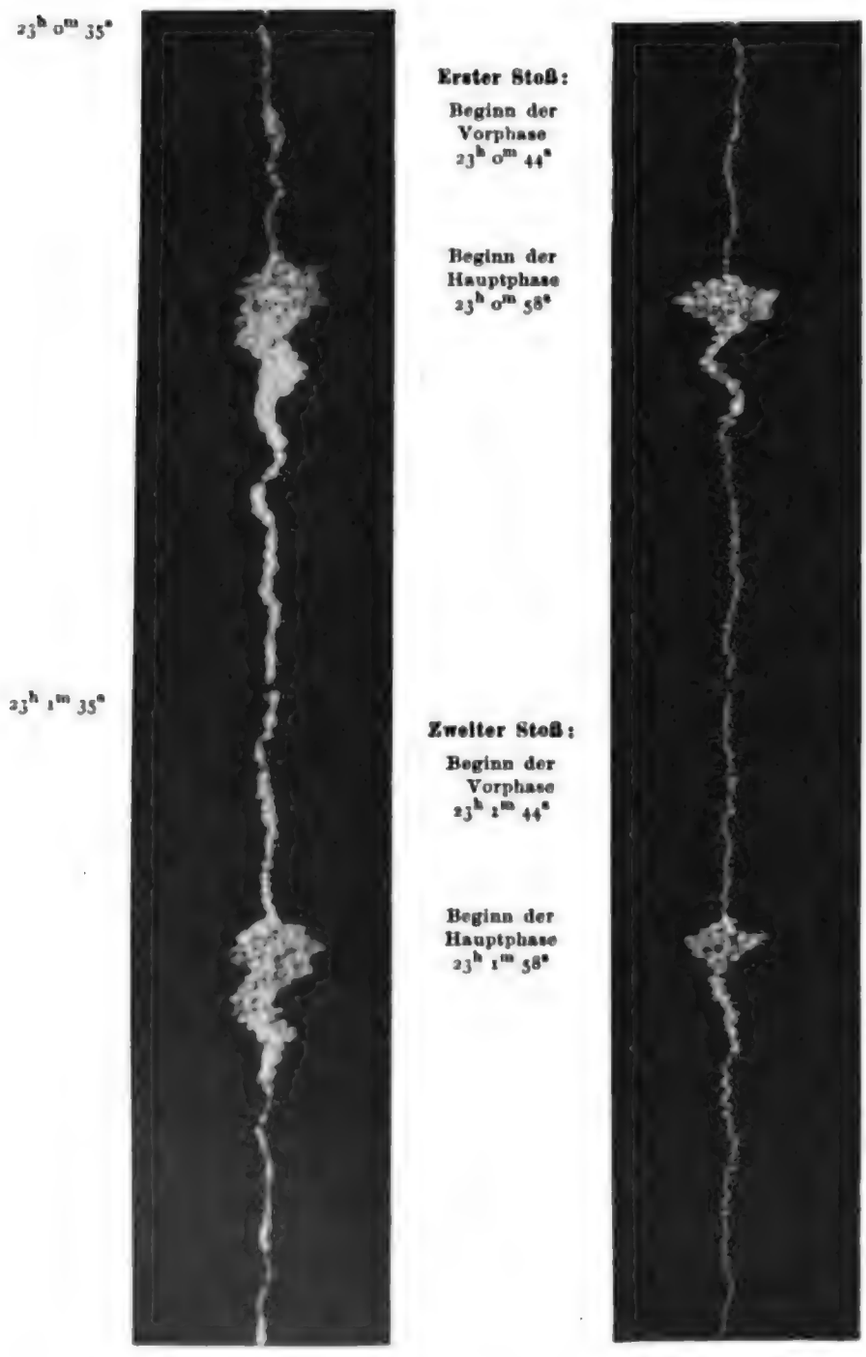
$22^h\,13^m$ findet in Asch, Brambach, Adorf, Bad Elster, Markneukirchen ein leichter Stoß statt, der sich auch noch in Auerbach und Rautenkranz bemerklich macht.

$22^h\,24^m$ schwächere Erschütterungen in einem größeren Teile des Vogtlandes, so in Brambach, Bad Elster, Markneukirchen, Bobenneukirchen, Krebes bei Reuth, Rautenkranz, Wilzschhaus, Georgengrün, Schneeberg und Greiz, ferner in den weit nach O in das Erzgebirge vorgeschobenen Orten Oberwiesenthal und Thum,

$23^h\;0^m\;44^s$ und

$23^h\;1^m\;44^s$, zwei ziemlich heftige Erbebungen, welche nicht nur das gesamte chronische vogtländische Schüttergebiet in Mitleidenschaft ziehen, sondern sich auch noch außerhalb desselben an isolierten Stellen, so in Greiz, in Petzschau (Böhmen) und im Erzgebirge in Eibenstock, Weißbach bei Wiesenburg, Schneeberg, Oberwiesenthal und Preßnitz (hier auch im Bergwerke) fühlbar machen, also auf ein vogtländisch-erzgebirgisches Schüttergebiet (s. Seite 440) hinweisen.

Die Seismogramme beider Beben (Figur 19 und 20) zeigen eine große Ähnlichkeit, indem bei beiden nur die N-S-Komponente



Figur 19. **N-S-Komponente.** Figur 20. **O-W-Komponente.**

Seismogramme der beiden Erdstöße vom 5. März 23h 0m 44s und 23h 1m 44s.
(Nr. 22 und 23 der Tabelle.)

den ersten Einsatz wiedergibt, ferner bei beiden die Dauer der Vorphase 13,6 Sek. beträgt und die mit großen Amplituden eintretende Hauptphase sich bei beiden O-W-Komponenten auffällig

rasch wieder abschwächt, sodaß der erste Teil der Hauptphase als knopfartige Verdickung mit beiderseits gezähneltem Rand erscheint. Beide Stöße sind durch minimale Schwingungen verknüpft, deren Amplituden diejenigen der chronischen Erzitterungen zu wenig überschreiten, um sich selbständig bemerkbar zu machen, sodaß sie bei der N-S-Komponente nur eine geringfügige Verdickung der seismogrammatischen Linie hervorrufen. Die Gesamtdauer der zwei auf solche Weise verknüpften Seismogramme beträgt 110 Sekunden. Nähere Angaben über sie finden sich unter No. 22 und 23 der Tabelle auf S. 527.

Nach diesen immerhin noch kräftigen beiden Erschütterungen folgt eine Periode von zum größten Teile schwachen Lokalstößen, welche bis nach 1 Uhr des nächsten Morgens, also des 6. März, andauert:

$23^h\ 10^m$ Bad Elster (2 ziemlich kräftige Stöße), Markneukirchen, Großzöbern, Auerbach, Beerhaide, Greiz schwach.
$23^h\ 30^m$ in Ellefeld ein so heftiger Stoß, daß manche Schläfer erwachen,
$23^h\ 44^m$ und
$23^h\ 48^m$ in Brambach schwächere Stöße,
24^h in Greiz schwache Erbebung.

6. März.

Mit mindestens gleicher Energie wie am vorigen Tage setzt sich die seismische Tätigkeit auch während des 6. März fort und beginnt bereits

$1^h\ 4^m$ mit einem Stoße, der in Treuen so stark ist, daß Leute erschreckt aus dem Schlafe emporfahren, der sich hingegen in Markneukirchen, Schöneck, Brambach, Lengenfeld und Weißbach nur als schwache Erschütterung kundgibt. Außer an diesen im chronischen Schütterareale gelegenen Orten wird gleichzeitig an verschiedenen Stellen des Erzgebirges (in den Tellerhäusern bei Gottesgab, in Grünhain nördlich Schwarzenberg, in Waldkirchen nördlich von Zschopau) eine von Donnerrollen begleitete Erbebung verspürt.

Das von diesem Stoße in Leipzig gelieferte Seismogramm ist gegenüber der Größe des makroseismischen Schüttergebietes überraschend schwach entwickelt, indem sich nur die kurz-

periodigen Schwingungen der Hauptphase und zwar bei der N-S-Komponente mit Amplituden von 2 μ, bei der O-W-Komponente mit solchen von nur 1 μ für die Dauer von 4 Sek. aufgezeichnet haben (Typus 1; No. 24 der Tabelle).

2^h 13^m, ein beträchtlich stärkerer Stoß, welcher sich in dem chronischen Schütterareale des Vogtlandes ziemlich stark, in der Gegend von Asch und Markneukirchen sogar in erschreckender Stärke äußert, und sich über dasselbe hinaus noch im südwestlichen und mittleren Erzgebirge bis Waldkirchen und Grünhainichen an der Zschopau, ferner bei Reitzenhain, Sebastiansberg, Preßnitz und Oberwiesenthal zum Teil noch recht kräftig fühlbar macht, und auch in der anliegenden nordböhmischen Schütterzone mit Görkau, Komotau, Kaaden, Karlsbad und Elbogen als leichte Erschütterung bemerkt wird. Über eine solche wird auch aus der weit nach NW vorgeschobenen Stadt Gera berichtet.

Vom Seismogramm dieses Stoßes gilt dasselbe wie von dem vorigen; also auch hier eine unerwartete Schwäche der mikroseismischen Aufzeichnung, die sich wiederum trotz des großen vogtländisch-erzgebirgischen Schüttergebietes auf den kurzperiodigen Teil der Hauptphase beschränkt (Typus 1, No. 25 der Tabelle).

2^h 45^m in Zwota schwacher Stoß, ebenso
3^h 05^m in Reichenbach und
3^h 30^m in Zwota,
4^h eine stärkere Erschütterung in Graslitz, Schöneck, Georgengrün, Reiboldsgrün und Carolagrün; dumpfes Donnerrollen in Plauen; aus Kronach in Oberfranken, aus Lobenstein in Reuß, aus Zschopau im Erzgebirge werden ungefähr gleichzeitige schwache Erschütterungen gemeldet, ebenso aus der Gegend von Gießhübel-Sauerbrunn an der Eger (nach Knett).

5^h 57^m, ein gewaltiger Stoß, der in seinem epizentralen Gebiete (wiederum Asch-Brambach-Bad Elster-Markneukirchen-Untersachsenberg-Klingenthal-Graslitz) einen vielleicht noch etwas höheren Stärkegrad besitzt wie die beiden Stöße vom vorhergehenden Abend. Das Gebiet der von ihm ausgegangenen intensiveren Erschütterungen erstreckt sich, wie dasjenige der beiden Hauptstöße vom vorigen Abend nach Norden zu über das ganze Vogt-

Digitized by Google

land über Ölsnitz, Schöneck, Falkenstein, Plauen, Auerbach, Treuen, Lengenfeld, Zeulenroda und Greiz bis Berga, Werdau und Kirchberg, um sich von hier als Areal geringer werdender seismischer Stärkegrade über das erzgebirgische Becken (Zwickau, Ölsnitz, Glauchau, Chemnitz) und das Granulitgebirge (Waldenburg, Penig, Burgstädt, Mittweida, Rochlitz, Waldheim) bis Döbeln und Meißen fortzusetzen. Zum Gebiete anfänglich stärkerer, sich aber naturgemäß nach NO ebenfalls abschwächender Erschütterungen gehört ferner das ganze südwestliche und mittlere Erzgebirge bis jenseits Annaberg, Marienberg, Reitzenhain und Sebastiansberg, sowie bis in die Gegend von Freiberg und Sayda, wo sich mit noch geringeren Stärkegraden das nordöstliche Erzgebirge und die linkselbische sächsische Schweiz anschließt. Hier im äußersten Nordosten des Schüttergebietes gibt sich das Abstoßen der seismischen Wellen an der Lausitzer Dislokation deshalb noch schärfer kund als bei den Beben des vorigen Abends (s. S. 466), weil in den östlichsten der dortigen Schütterorte (Niedergrund, Krippen, Königstein, Pirna, Pillnitz, Dohna, Laubegast, Loschwitz, Dresden, Kötzschenbroda) die Erbebung viel intensiver empfunden worden ist, als am Abend vorher und deshalb der Gegensatz zu dem rechtselbischen, von der Erschütterung nicht betroffenen Quader- und Granitplateau noch auffälliger wurde.

Weiter im Süden erstreckt sich das Schüttergebiet entlang dem erzgebirgischen Abbruch über den ihm vorliegenden Streifen von Nordböhmen mit Außig, Teplitz, Bilin, Görkau, Komotau, Priesen, Kaaden, Klösterle, Karlsbad, Petzschau und Luditz, endlich vom Vogtlande aus in südlicher Richtung über das Egerland, den Kaiserwald und das Tepler Hochland mit Bleistadt, Falkenau, Franzensbad, Eger, Königsberg und Marienbad über den Böhmerwald und die Oberpfalz bis hinab zur Donau, welche die Erdbebenwellen zwischen Regensburg und Passau erreichen.[1])

Welchen Verlauf die Grenzlinie von der Donau aus bis nach Tetschen an der Elbe nimmt, ist wegen Mangel an Beobachtungen nicht sicher festzustellen. Bestätigen sich die Nachrichten, die REINDL aus Pilsen und Prag erhielt, wonach das Beben an beiden Orten, wenn auch schwach verspürt worden sei, so würde die

1) Nach BRUNHUBER l. c. und REINDL l. c.

Digitized by Google

Grenze beträchtlich weiter nach O zu verlegen sein, als sie KNETT auf Grund der ihm zugegangenen Unterlagen in dem seiner zitierten Arbeit beigegebenen Kärtchen zu ziehen sich berechtigt fühlte.

Nach Norden und Westen dürfte das Schüttergebiet des Stoßes $5^h\,57^m$ nicht ganz so weit reichen, wie dasjenige der beiden Hauptstöße vom Abend vorher. So liegt aus Leipzig, Naumburg, Freyburg a. U., Weimar, Rudolstadt und Hildburghausen, lauter Städten der äußersten nördlichen und nordwestlichen Grenzzone der gestrigen Beben, keine einzige Nachricht über sich dort am Morgen des 6. März wiederholt habende Schüttererscheinungen vor, während sich solche in den thüringischen Landstrichen mit Schleiz, Hirschberg a. S., Lobenstein, Lehesten, Rothenkirchen noch abgespielt haben. Letzteres gilt auch von dem Fichtelgebirge (Wunsiedel, Alexandersbad, Berneck) und Oberfranken (Hof, Münchberg, Bayreuth, Kulmbach, Stadt Steinach, Lichtenfels, Staffelstein).

Bei der Unsicherheit aller derartiger Grenzlegungsversuche muß es genügen, zu konstatieren, daß die Schütterareale der 3 Hauptbeben von $21^h\,37^m$ und $21^h\,55^m$ des 5. März und von $5^h\,57^m$ des 6. März ungefähr die gleiche Ausdehnung besessen haben und daß in ihnen die Zonen von verschiedener Schütterstärke eine ebenfalls sehr ähnliche Verteilung besaßen, so daß bezüglich dieser Verhältnisse auf die ausführliche Beschreibung der beiden erstgenannten Beben, sowie auf die kartographische Darstellung auf Tafel I verwiesen und von einem listenartigen Verzeichnis der Hunderte von Beobachtungen im Bereiche des letzten Bebens abgesehen werden darf.

Die Leipziger Seismogramme dieses Bebens gehören, wie bei dessen großer Schütterstärke zu erwarten war, dem Typus 3 (Figur 3^b, Seite 426) an. Leider ist bei beiden Komponenten die Vollständigkeit des Seismogrammes dadurch gestört, daß die 15 Sekunden lange Unterbrechung der Aufzeichnung behufs Markierung der Stunde gerade in dasselbe fällt und den zweiten Abschnitt der Hauptphase, nämlich denjenigen der langperiodigen Schwingungen ganz zum Ausfall bringt. An dem übrig bleibenden Teile der O-W-Komponente (Figur 21) zeigt sich der scharfe, erste Einsatz $5^h\,57^m\,47^s$ und die 13,6 Sek. dauernde Vorphase mit bis 2,8 μ weiten Ausschlägen, ferner der erste Abschnitt der Hauptphase, deren längste wiederum durch Eigenschwingungen

Digitized by Google

Figur 21. **O-W-Komponente.**

Seismogramm des Hauptstoßes vom 6. März 5h 57m 47s.

(Nr. 26 der Tabelle.)

des Pendels gestörte Amplituden 26 μ erreichen dürften. In dem dann nach 15 Sek. Pause aufgezeichneten Endabschnitte der Hauptphase lassen sich Wellen mit 1,2 bis 1,6 Sek. langer Periode konstatieren. Insgesamt besitzt das Seismogramm eine Länge von 160 Sekunden.

Bei der N-S-Komponente erreichen die Amplituden in der Vorphase 3, in der Hauptphase 19 μ (siehe Nr. 26 der Tabelle).

Schon kurz nach diesem Hauptstoß erfolgt

6h 10m ein zwar weniger intensiver, aber immerhin noch recht kräftiger Stoß in der nämlichen Epizentralzone wie der vorige und dessen Vorgänger und pflanzt sich von hier aus außer über das Vogtland noch ziemlich weit über das Erzgebirge bis Oberwiesenthal, Weipert, Annaberg und Thum, Zwönitz, Schneeberg und Kirchberg, ferner über den Landstrich Falkenau-Karlsbad fort; trotzdem umfaßt sein Schüttergebiet nur einen geringen Teil desjenigen der vorhergegangenen 3 Hauptstöße. An ihm fällt auf, daß sich dasselbe nach den vorliegenden Nachrichten vom pleisto-

Digitized by Google

seismischen Areale aus nicht nach Westen und Süden in die Thüringischen Staaten, in das Egerland und den Böhmerwald, sondern nur nach NO in das Erzgebirge ausgebreitet hat. Es wiederholt sich also hier eine ganz ähnliche Erscheinung wie bei den Stößen vom 23. Februar $6^h\,32^m$ und vom 6. März $2^h\,13^m$, deren Schüttergebiete aus obigem Grunde als „vogtländisch-erzgebirgisch" bezeichnet wurden (S. 440).

In dem Leipziger Seismogramm spiegelt sich der im Vergleiche mit dem Hauptstoß $5^h\,57^m$ geringe Stärkegrad dieses neuesten Stoßes in auffällig hohem Maße wieder (vergl. Nr. 27 der Tabelle). Von ihm gilt ähnliches wie von denen Nr. 24 und 25 der Tabelle, indem dasselbe auch in diesem Falle aus einer im Verhältnis zu dem großen Schüttergebiete nur schwachen Aufzeichnung besteht. Jedoch beschränkt sich diese nicht auf den kurzperiodigen Abschnitt der Hauptphase, sondern es folgen demselben noch leichte seismische Erzitterungen, so daß das Seismogramm eine Gesamtlänge von 30 Sekunden erreicht und bereits ein Übergangsglied vom Typus 1 zum Typus 2 darstellt.

Von nun ab erfolgen zu allen Stunden des Tages im Vogtlande schwache Erschütterungen, zwischen welche sich mehrere ziemlich starke und nachmittags 14^h sowie abends 20^h zwei sehr starke Stöße einschalten.

$6^h\,28^m$ unterirdisches Rollen in Graslitz,
$7^h\,54^m$ ziemlich starker Stoß in Markneukirchen, ebenso
$8^h\,10^m$ in Morgenröthe und Rautenkranz,
$8^h\,38^m$ schwacher Stoß in Plauen, desgleichen
$8^h\,45^m$ in Brambach und Plauen,
$9^h\,02^m$ stärkerer Stoß in Wilzschhaus, schwache Erschütterung in Rautenkranz und Klingenthal,
$9^h\,10^m$ ziemlich starker Stoß in Wilzschhaus, ein schwacher in Brambach,
$9^h\,35^m$ recht kräftiger Stoß, der fast das ganze chronische vogtländische Schüttergebiet betrifft,
$9^h\,45^m$ in Markneukirchen und Graslitz ein ziemlich starker, in Klingenthal ein schwacher Stoß, in Brambach 2 schwächere Stöße,
$9^h\,55^m$ und
$10^h\,33^m$ mittelstarker Stoß in Markneukirchen, ebenso

Digitized by Google

10h 47m in Graslitz; in Kottenhaide und Falkenstein ein schwacher Stoß,
11h leichte Erschütterung in Falkenstein,
11h 30m stärkerer Stoß in Schönberg, Brambach, Fleißen, Markneukirchen und Brunndöbra, schwache Erschütterung in Grünbach bei Falkenstein, unterirdisches Rollen in Bad Elster,
12h 02m schwächere Stöße in Kottenhaide, Muldenberg und Grünbach,
12h 10m stärkerer Stoß in Bleistadt,
12h 58m mittelstarker Stoß in Graslitz, Eibenberg, Rothau und Klingenthal, schwach in Georgengrün, Markneukirchen und Brambach; ebenso
13h 12m in Brambach.

14h 0m ein Stoß, der wiederum von dem chronischen Epizentrum ausgeht, fast den gleichen Stärkegrad und deshalb ein nur etwas kleineres Schüttergebiet besitzt, wie derjenige des nämlichen Morgens 2h 13m (S. 475) und sich lokal (so z. B. in Bad Elster, Georgengrün, Arnoldsgrün, Carolagrün, Reiboldsgrün) in Form von 2 oder 3 rasch aufeinander folgenden Erschütterungen äußert.

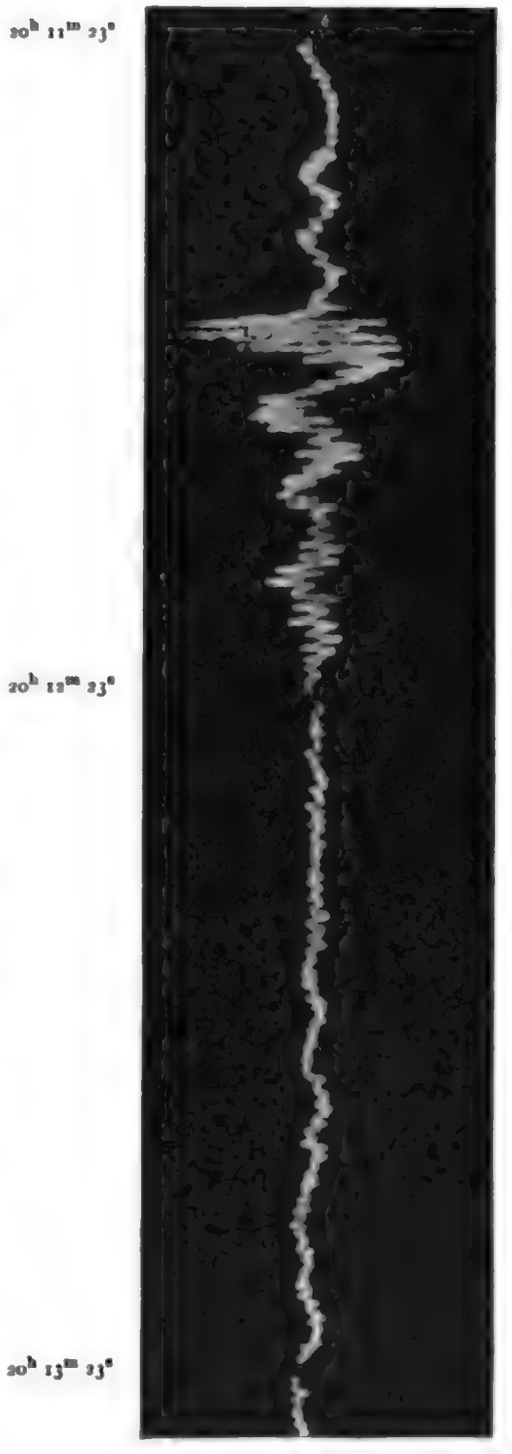
Das durch die Tagesstörungen stark beeinflußte Seismogramm dieses Stoßes gehört dem Typus 2 an, läßt also keinen ersten Einsatz und keine Vorphase erkennen, weist im Anfangsteile der Hauptphase bei der N-S-Komponente Amplituden von 5, bei der O-W-Komponente solche von 7 μ auf und besitzt eine Gesamtlänge von etwa 60 Sekunden (Nr. 28 der Tabelle).

15h in Markneukirchen schwacher, in Untersachsenberg stärkerer Stoß, dem hier lang andauerndes Erzittern des Bodens folgt,
15h 25m schwacher Stoß in Markneukirchen, ebenso
16h in Asch und Raun bei Brambach,
16h 45m heftiger Stoß in Markneukirchen,
17h stärkerer Stoß in Klingenthal, schwache Erschütterung in Markneukirchen, Asch und Bleistadt,
18h 35m stärkerer und
19h 05m schwacher Stoß in Markneukirchen,
19h 26m ein ebensolcher in Graslitz, stärker in Bleistadt.

20h 11m ein heftiger Stoß, dessen Schütterwirkungen sich innerhalb der alten chronischen Epizentralzone, und zwar lokal in

Digitized by Google

Form mehrerer rasch aufeinander folgender Erschütterungen in z. T. erschreckender Stärke abspielten, das ganze Vogtland bis in die Gegend von Zwickau in Mitleidenschaft zogen und sich nach Süden über Frankenhammer, Eger und den Kaiserwald bis jenseits Marienbad, ferner über Karlsbad bis jenseits Krondorf, nach Osten im Erzgebirge bis Oberwiesenthal, Jöhstadt, Cranzahl und Zwönitz fühlbar machten, während trotz dieser weiten südlichen und nordöstlichen Erstreckung des Bebens ebenso wie bei den Stößen $2^h\,13^m$ und $6^h\,10^m$ des nämlichen Tages keine einzige Meldung über seinen Vollzug aus den westlich vom Vogtlande sich ausdehnenden bayrischen, reußischen und thüringischen Territorien eingegangen ist. Gegenüber der Gestaltung der Schüttergebiete anderer stärkerer Stöße des neuesten Erdbebenschwarmes ist die mehrfache Wiederholung einer derartigen westlichen Verkürzung zu einem vogtländisch-erzgebirgischen eine umso auffälligere Erscheinung, als die Erschütterung aus den westlichen Grenzorten dieses eingeschränkten Areales (Brambach, Raun, Asch, Bad Elster, Roßbach, Bobenneukirchen, Dehles bei Reuth, Plauen) als eine starke oder mittelstarke beschrieben wird, nach deren Stärkegrad man eine beträchtlich weitere Fortpflanzung der Erdbebenwellen nach Westen hätte erwarten sollen.



Figur 22. **O-W-Komponente.**
Seismogramm des Erdstoßes vom 6. März $20^h\,11^m\,34^s$.
(Nr. 29 der Tabelle.)

Das Leipziger Seismogramm dieses Stoßes (Figur 22 und

Nr. 29 der Tabelle) ist ein besonders klares Beispiel der Diagramme vom Typus 3^b. Bei beiden Komponenten ist der erste Einsatz $20^h\ 11^m\ 34^s$ deutlich markiert, die Vorphase dauert etwa 13,8 Sekunden, — die Hauptphase zerfällt dem Schema Figur 3^a S. 426 folgend in einen kurzperiodigen und einen langperiodigen Abschnitt, — die größten Amplituden in ersterem betragen 18 μ. Die durch die stärksten seismischen Schwingungen verursachten Eigenschwingungen des Pendels machen sich namentlich bei der N-S-Komponente bis in den zweiten Teil der Hauptphase bemerklich.

$20^h\ 28^m$ in Graslitz ein starker, darauf ein schwacher Stoß; in Frankenhammer, Hirschenstand, Brambach, Markneukirchen, Zwota, Schöneck, Grünbach, Georgengrün und Auerbach ein schwacher Stoß, der sich aber nach KNETT noch in Krondorf-Sauerbrunn und in Schlaggenwald fühlbar machte,

$21^h\ 20^m$ in Markneukirchen schwacher Stoß, ebenso

$21^h\ 40^m$ in Markneukirchen, Franzensbad und Rentzschmühle bei Jocketa, starker Stoß in Bleistadt, unterirdisches Rollen in Bockau und Grünhain bei Schwarzenberg.

$22^h\ 01^m$ in Bleistadt 2 starke Stöße,

$22^h\ 25^m$ schwacher Stoß in Pausa im westlichen Vogtland und in Thum im Erzgebirge, unterirdisches Rollen in Chemnitz und Bockau,

$22^h\ 43^m$ in Graslitz 2 schwache Stöße, in Markneukirchen, Schöneck, Brambach leichter Stoß, in Chemnitz unterirdisches Rollen,

$23^h\ 10^m$ leichter Stoß in Graslitz und Brambach.

7. März.

Die seismische Energie, die ihren Höhepunkt während der letzten beiden Tage erreicht hatte, beginnt sich mit dem 7. März zu verringern. Sie äußert sich zwar noch in einer großen Zahl schwächerer Lokalstöße und einiger etwas stärkerer bis mittelstarker Stöße mit in letzterem Falle ziemlich ausgedehntem Schütterareal, schwingt sich aber nicht mehr zu derartigen Hauptstößen empor, wie sie sich am 5. und 6. März wiederholten.

Leichte Erschütterungen spielten sich am 7. März zunächst zwischen Mitternacht und 6 Uhr morgens an mehreren in dieser Beziehung bereits oft genannten Orten ab, so

$0^h\,10^m$ in Treuen,
$0^h\,30^m$ in Brunndöbra,
$1^h\,15^m$ in Treuen,
$1^h\,32^m$ in Bad Elster,
$2^h\,12^m$,
$2^h\,26^m$,
$2^h\,33^m$ und
$2^h\,42^m$ in Brambach,
$2^h\,45^m$ in Brambach, Markneukirchen und Hartmannsdorf,
$4^h\,25^m$ in Ölsnitz und Graslitz,
$5^h\,15^m$ in Eich.

Diesen Lokalerschütterungen gegenüber steigert sich die seismische Tätigkeit innerhalb der gewohnten epizentralen Zone zu 2 heftigen Stößen, die sich über ein weites vogtländisch-erzgebirgisches Schüttergebiet ausdehnen, nebst einem zwischenliegenden beträchtlich schwächeren Stoße, dessen Wellen nicht über das Vogtland hinausgreifen. Der erste derselben ereignet sich

$6^h\,01^m$ und pflanzt sich nach Norden über das Vogtland mit Ölsnitz, Falkenstein, Plauen, Schönhaide, Auerbach, Lengenfeld und Weißbach über das erzgebirgische Becken und das Granulitgebirge fort, wo er noch in Penig verspürt wird, im Erzgebirge überschreiten seine Wellen das Talgebiet des Schwarzwassers (Johanngeorgenstadt, Breitenhof, Antonsthal, Schwarzenberg, Aue), dasjenige der Zschopau (Bärenstein, Cranzahl, Crottendorf, Annaberg, Ehrenfriedersdorf, Thum), endlich das der Flöha, um sich noch in Freiberg fühlbar zu machen. In südlicher Richtung erstreckt sich die Erschütterung über Eger bis in den nördlichsten Böhmerwald (Waldsassen), nach SW über Neudeck und Abertham bis jenseits Krondorf-Sauerbrunn, Karlsbad und Königsberg a. E. Ihr Schüttergebiet ist somit demjenigen vom vorigen Abend $20^h\,11^m$ sehr ähnlich. Auffällig ist auch bei ihm seine geringe Ausdehnung nach Westen (vergl. S. 481), von wo nur aus ganz wenigen isolierten Orten Berichte eingelaufen sind, nach denen sich dieser Stoß in Pausa noch ziemlich kräftig, aber bereits in der Gegend von Schleiz nur noch ganz leicht geäußert hat.

Digitized by Google

Auch dieser Stoß lieferte ein dem Typus 3^b angehöriges Seismogramm, Nr. 30 der Tabelle, welches mit dem in Figur 22 S. 481 wiedergegebenen von $20^h 11^m$ des gestrigen Tages sehr gut übereinstimmt. Beide unterscheiden sich von den Seismogrammen der 3 Hauptstöße vom 5. und 6. März Figur 15, 16, 17, 18 und 21, die ja dem gleichen Typus angehören, nur durch die geringeren Maße der Amplituden der seismischen Schwingungen und durch die etwas kürzere Dauer der durch letztere im Anfangsteil der Hauptphase erzeugten Eigenschwingungen des Pendels.

$6^h 16^m 29^s$ und

$6^h 16^m 37^s$, zwiefache, durch nur wenige Sekunden getrennte Erschütterung des zentralen Streifens des chronischen vogtländischen Schüttergebietes, und zwar des zwischen Graslitz-Markneukirchen im Süden und Lengenfeld im Norden gelegenen Landstriches.

Das Leipziger Seismometer verzeichnet 2 ganz gleiche und zwar dem Typus 1 angehörige, also nur aus dem ersten Abschnitt der Hauptphase bestehende Seismogramme, deren Schwingungen nur eine Amplitude von 1 μ besitzen (Nr. 31 und 32 der Tabelle).

$7^h 10^m$ in Schönhaide 2 schwache Stöße,
$7^h 45^m$ in Rautenkranz schwacher Stoß.

$7^h 55^m$, der zweite der beiden S. 483 erwähnten heftigen Stöße, der aber nicht ganz den Stärkegrad des ersten $6^h 01^m$ erreicht haben kann, da die Grenze seines Schüttergebietes fast überall innerhalb derjenigen des ersten Bebens liegt. Am beträchtlichsten findet letzteres gegen NO. also im Erzgebirge statt, wo dieselbe bereits bei Oberwiesenthal und Jöhstadt zu suchen ist, also etwa 40 km hinter der des Bebens $6^h 01^m$ (mit Freiberg) zurückbleibt. Erwähnt sei, daß diese Erschütterung ebenso wie diejenigen mehrerer anderer Stöße des nämlichen Tages ($8^h 10^m$, — $12^h 30^m$, — 14^h) sich auch in den tieferen Bauen der Grube Vereinigt-Feld bei Johanngeorgenstadt lebhaft fühlbar machten.

Das Seismogramm dieses Stoßes (Nr. 33 der Tabelle) steht an der oberen Grenze des Typus 2, indem die Hauptphase noch wie beim Typus 2 ausgebildet ist, während der erste Einsatz, was dem Typus 3 entsprechen würde, auf der O-W-Komponente, wenn auch nur wenig scharf, markiert ist und dadurch eine Vorphase

Digitized by Google

von 13,2 Sekunden Länge einleitet. Die Hauptphase verläuft unter gleichzeitiger Beeinflussung durch Tagesstörungen ganz allmählich in die Endphase, so daß man dem gesamten Seismogramm eine Länge von 100 Sekunden zuerteilen kann. Der hohe Entwickelungsgrad dieses Seismogrammes würde der in der Tat beträchtlichen Ausdehnung des Schüttergebietes entsprechen.

Die nun im ferneren Laufe des 7. März bis zur Frühe des nächsten Tages folgenden ziemlich zahlreichen Stöße sind zum bei weitem größten Teil nur schwach und auf ordnungslos im alten Schüttergebiete zerstreute Orte beschränkt:

$8^h\ 10^m$ in Brambach und Johanngeorgenstadt schwacher Stoß,
$8^h\ 40^m$ kräftigerer Stoß in Graslitz und Frankenhammer.
$10^h\ 57^m$ in Graslitz, Kottenhaide und Wilzschhaus starker Stoß, in Schöneck 2 schwächere Stöße.

Dieses Beben muß einen höheren Stärkegrad und wahrscheinlich auch ein größeres Schüttergebiet besessen haben, als die wenigen eingegangenen Referate erkennen lassen, da es in Leipzig ein Seismogramm geliefert hat, welches sogar dem Typus 2 zuzurechnen ist. Dasselbe besteht demgemäß aus der Hauptphase mit sich randlich deckenden, bei der N-S-Komponente 4 μ, bei der O-W-Komponente 5 μ weiten Schwingungen, denen weitere seismische Erzitterungen folgen, die nur wenig stärker als die Tagesstörungen sind (Nr. 34 der Tabelle S. 527).

$11^h\ 56^m$ in Ölsnitz schwacher Stoß, ebenso
$12^h\ 30^m$ in Johanngeorgenstadt, sowie
$12^h\ 45^m$ in Klingenthal und Auerbach,
$13^h\ 02^m$ in Schönberg starker Stoß, in Brambach, Bad Elster, Jugelsburg, Grünbach, Georgengrün, Erlabrunn schwache Erschütterung,
$1^h\ 30^m$ in Graslitz stärkerer, in Brambach und Georgengrün schwacher Stoß, ebenso
$13^h\ 36^m$ in Brambach, sowie
14^h in Johanngeorgenstadt und Grünhain;
$15^h\ 30^m$ und
16^h in Georgengrün starkes unterirdisches Rollen, ebenso
$17^h\ 20^m$ und
$20^h\ 15^m$ in Albertsberg.
$20^h\ 48^m$ in Brambach und Grünhain leichte Erschütterung, ebenso

Digitized by Google

$21^h\ 21^m$,
$22^h\ 55^m$ und
$23^h\ 05^m$ in Brambach.

$23^h\ 18^m$ in Asch stärkerer in Brambach schwächerer Stoß, in Bad Elster, Schnarrtanne, Thum unterirdisches Rollen. Auch von diesem Stoße gilt das oben von seinem Vorgänger $10^h\ 57^m$ Gesagte. Auch diesmal muß die Berichterstattung eine sehr lückenhafte gewesen sein, da dieses anscheinend so geringfügige Beben ein sehr deutliches, an der Grenze des Typus 2 zu Typus 1 stehendes Seismogramm geliefert hat. In seiner Hauptphase vereinen sich die sich deckenden Ausschläge zu einem schweifartig ausgezogenen Knopf, was darauf hindeutet, daß sich an die ersten stärkeren Ausschläge mit 3 bis 4 μ weiten Amplituden allmählich schwächer werdende Ausschläge mit sehr kurzen Perioden anreihen (Nr. 35 der Tabelle).

$23^h\ 43^m$ und
$23^h\ 48^m$ in Brambach, sowie
24^h in Asch schwache Erschütterung.

8. März.

Aus der fortdauernd noch großen Anzahl schwächerer Lokalstöße heben sich im Laufe der ersten Tageshälfte namentlich 2 heftige Stöße mit ausgedehnten Schüttergebieten ab. Neben ersteren werden in manchen Orten des Vogtlandes wie bereits an früheren Erdbebentagen sich oft wiederholende unterirdische, summende oder brausende Geräusche, sowie dann und wann ferne Detonationen wahrgenommen, denen nach Verlauf einiger Sekunden leise Erzitterungen folgen.

$1^h\ 01^m$ in Asch, Brambach und Wilzschhaus schwächerer Stoß, in Kottenheide, Auerbach und Albertsberg unterirdisches Rollen. Nach diesen wenig umfänglichen Berichten muß es überraschen, daß auch dieses Beben ein Seismogramm geliefert hat, welches freilich sehr geringfügig ist und dem Typus 1 angehört (No. 36 der Tabelle). Bei der O-W-Komponente erscheint dasselbe nur als minimale Anschwellung, während es bei der N-S-Komponente die Gestalt eines nach hinten spindelartig ausgezogenen Knopfes erlangt. Diese beiden Seismogramme ähneln in

Digitized by Google

hohem Grade denen des Stoßes $1^h\,22^m$ am 25. Februar (vergl. Figur 12 und 13 S. 445).

$1^h\,45^m$ in Brambach und Markneukirchen schwacher Stoß, ebenso

2^h in Asch,

$2^h\,15^m$ in Schöneck,

3^h in Bockau,

$4^h\,46^m$ in Brambach und Schnarrtanne, sowie

5^h in Asch.

$5^h\,29^m$ in Markneukirchen etwas stärkerer Stoß,

6^h in Plauen schwache Erschütterung, in Bad Elster starkes Erzittern, in Jugelsburg 3 leichte Stöße, in Albertsberg unterirdisches Rollen, in Preßnitz im Erzgebirge schwacher Stoß.

$6^h\,14^m$ in Graslitz und Eibenberg schwacher,

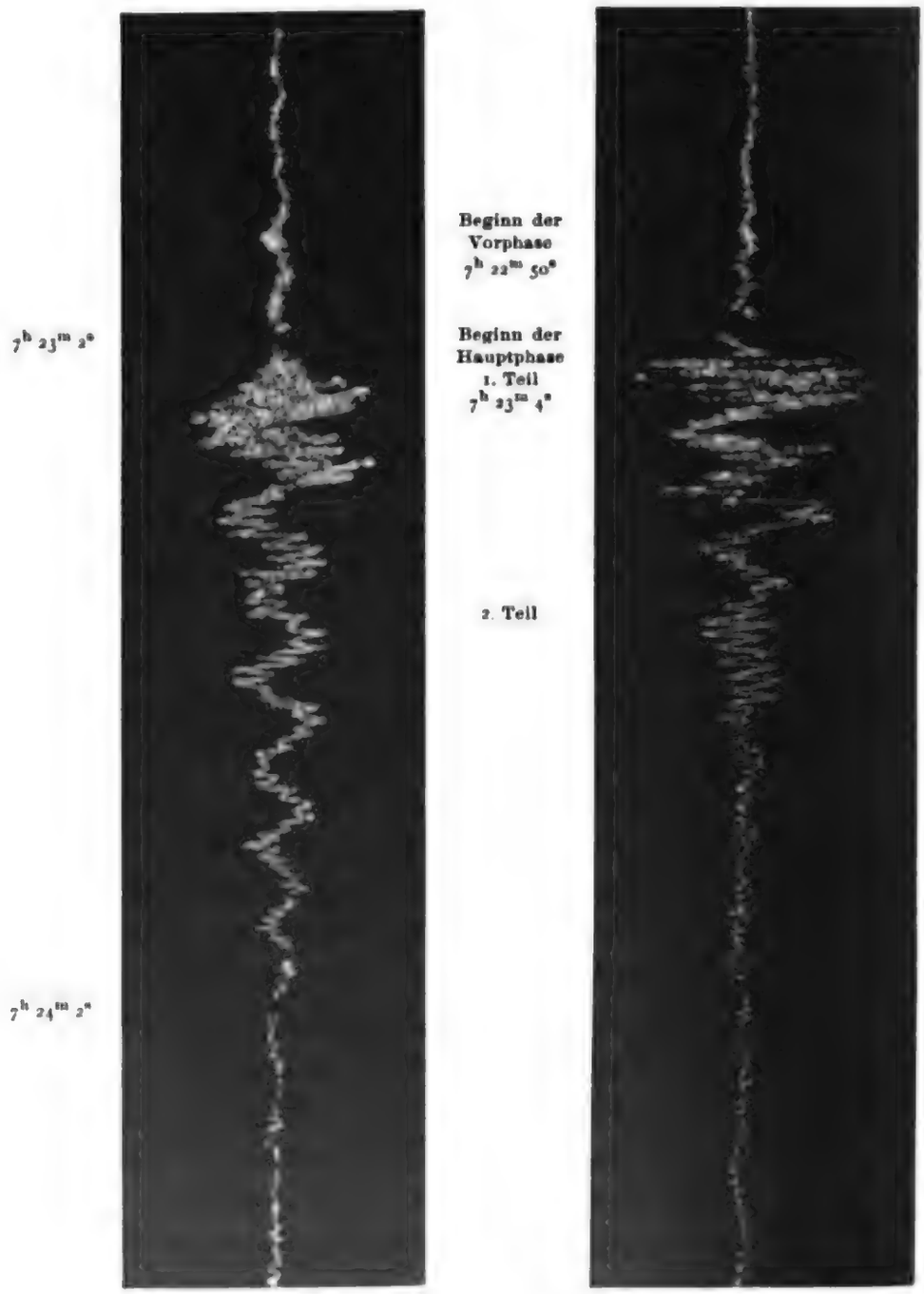
$6^h\,30^m$ in Asch stärkerer Stoß.

$7^h\,22^m$ im epizentralen Gebiete Frankenhammer, Brambach, Asch, Grün, Bad Elster, Adorf, Markneukirchen, Graslitz, Klingenthal, Untersachsenberg, Kottenhaide, Schöneck ein heftiger Stoß, dessen Wirkungen sich über das Vogtland und zwar über Plauen bis Pausa, über Falkenstein, Lengenfeld bis Schneeberg, — im Erzgebirge einerseits über Bockau, Aue, Lößnitz und Zwönitz, anderseits über Wildenthal, Johanngeorgenstadt, Krottendorf, Breitenhof, Cranzahl, Bärenstein, Jöhstadt und Annaberg bis in das Tal der Flöha (Lengefeld) ausbreiten und sich über Neudeck im nordböhmischen Vorlande bis jenseits Karlsbad, Falkenau und Eger erstrecken, ja noch im Fichtelgebirge (Wunsiedel) fühlbar sind.

Nach den zahlreichen vorliegenden Berichten über dieses Beben läßt sich deutlich die allmähliche Abnahme der Schütterwirkungen nach außen verfolgen, die sich in peripheren Orten (z. B. in Grünhain und Zwönitz) nur noch als unterirdisches langandauerndes Donnerrollen, in anderen (z. B. Lößnitz, Jöhstadt, Lengefeld, Wunsiedel) nur als Erzitterung oder schwache wellenförmige Bewegung bemerklich machen. Anders an der Westgrenze des oben umschriebenen Schüttergebietes. Hier hören jenseits Pausa, Bobenneukircken und Asch die Berichte über Erdbebenbeobachtungen vollständig auf, sodaß man hiernach auf den derweiligen seismischen Ruhezustand jener reußisch-thüringischen Terri-

Digitized by Google

torien und darauf schließen muß, daß auch diesmal die Fortpflanzung der seismischen Wellen wesentlich eine nördliche und nordöstliche



Figur 23. N-S-Komponente. Figur 24. O-W-Komponente.

Seismogramm des Erdstoßes vom 8. März 7h 22m 50s.
(Nr. 37 der Tabelle.)

war. Das Schüttergebiet auch dieses Stoßes würde demnach der vogtländisch-erzgebirgischen Gruppe (s. S. 440) angehören.

Das Leipziger Seismogramm desselben (Figur 23 und 24,

sowie No. 37 der Tabelle) liefert ein höchst charakteristisches Beispiel des Typus 3 und zwar dadurch, daß wenigstens bei der N-S-Komponente der erste Einsatz scharf und die 13,5 Sek. lange Vorphase deutlich entwickelt ist, daß ferner, und zwar namentlich klar in der O-W-Komponente, die Hauptphase in die für diesen Typus charakteristischen 2 Abschnitte, einen kurzperiodigen und einen langperiodigen, sich gliedert, ersterer mit Ausschlägen von 21, letzterer mit solchen von etwa 7 μ Amplitude. Bei der weniger intensiv gedämpften N-S-Komponente hingegen werden die seismischen Ausschläge dieser Hauptphase durch die Eigenschwingungen des Pendels stark beeinflußt, sodaß hier die weitere Gliederung dieser Phase sich nicht so scharf markiert wie bei der O-W-Komponente. Doch zeigt der zeitliche Vergleich beider Seismogramme, daß auch hier der zweite Abschnitt von langperiodigen Wellen eingeleitet wird.

In den nächsten Stunden vollziehen sich schwache Lokalstöße an folgenden Orten:

$8^h\,07^m$ in Muldenberg,
$8^h\,20^m$ in Markneukirchen und Auerbach,
$8^h\,40^m$ in Graslitz,
$9^h\,06^m$ in Kottenhaide, Muldenberg und Auerbach,
$9^h\,17^m$ in Auerbach,
$9^h\,27^m$ in Falkenstein und Adorf,
$9^h\,49^m$ in Adorf,
10^h in Schneeberg.
$10^h\,37^m$ stärkerer Stoß in Graslitz und Eibenberg, schwache Erschütterung in Markneukirchen, langes Rollen in Adorf,
$10^h\,45^m$ leichter Stoß in Albertsberg,
$10^h\,55^m$ stärkerer Stoß in Brambach,
$11^h\,26^m$ langes unterirdisches Rollen in Adorf,
$12^h\,30^m$ stärkerer Stoß in Brambach, Graslitz und Eibenberg und Doppelstoß in Adorf, die sich in der Längszone des chronischen vogtländischen Schüttergebietes nach N bis Lengenfeld und Kirchberg in Form einer leichten Erschütterung fühlbar machen. Trotzdem ist auch diese von dem Seismometer in Leipzig registriert worden. Die hier erzielten beiden Seismogramme stehen nahe der Grenze von Typus 2 und 1. In der unvermittelt einsetzenden Hauptphase steigern sich die Ampli-

Digitized by Google

tuden sehr rasch bei der N-S-Komponente bis auf 9 μ, bei der O-W-Komponente bis auf 7 μ, schwächen sich aber ebenso rasch ab und werden von einer Reihe leichterer Erzitterungen gefolgt (No. 38 der Tabelle).

Von neuem schließen sich schwache Stöße und unterirdisches Donnerrollen an, und zwar

$12^h\,37^m$ in Graslitz und Eibenberg,
$13^h\,30^m$ in Adorf,
$14^h\,35^m$ in Georgengrün (Rollen),
$15^h\,15^m$ in Markneukirchen,
$16^h\,05^m$ und
$17^h\,25^m$ in Grünhain und Adorf,
18^h und
$20^h\,30^m$ in Adorf,
$21^h\,18^m$ in Auerbach (Rollen),
$22^h\,52^m$ in Brambach,
$23^h\,24^m$ in Brambach 3 etwas stärkere Erschütterungen,
$23^h\,37^m$ in Brambach leichter Stoß.

9. März.

Im Laufe dieses Tages nimmt die Zahl der Stöße innerhalb des vogtländischen Schüttergebietes um etwas ab, mehrere derselben erreichen jedoch noch immer ziemlich hohe Stärkegrade und erschüttern deshalb größere Gebiete, die jedoch höchstens im äußersten NO die Grenzen des Vogtlandes um etwas überschreiten.

2^h in Untersachsenberg eine schwache Erschütterung, ebenso
5^h in Asch,
$\mathbf{5^h\,30^m}$ ein Stoß, der sich in Asch, Grün, Roßbach, Brambach, Markneukirchen, Adorf und Graslitz in ziemlicher Heftigkeit äußert und sich von hier aus makroseismisch in dem schmalen, nach NNO gerichteten vogtländischen Schütterstreifen bis Schneeberg fortpflanzt, sich jedoch noch in Leipzig seismogrammatisch registriert (No. 39 der Tabelle) und zwar als Repräsentant des Typus 1 ähnlich wie Figur 12 und 13 Seite 445).
$5^h\,40^m$ leichter Stoß in Adorf, ebenso

Digitized by Google

6^h in Schönberg, Brambach, Asch und Bad Elster, in Georgengrün unterirdisches Rollen, in dem fern im Erzgebirge gelegenen Preßnitz eine schwache Erschütterung,

$6^h\,44^m$ in Schönberg stärkerer, in Brambach, Bad Elster, Klingenthal, Georgengrün leichter Stoß,

10^h—15^h in Adorf öfteres unterirdisches Donnerrollen,

$15^h\,14^m$ stärkster Stoß während des 9. März, deshalb mit etwas größerem Schütterkreis, der sich zwar ebenso wie derjenige des Stoßes $5^h\,30^m$ fast ganz auf das Vogtland beschränkt, aber seine Grenzen etwas weiter nach NO (bis Grünhain) und nach W (bis Bobenneukirchen) vorschiebt. Sein Seismogramm (No. 40 der Tabelle) setzt direkt mit der Hauptphase von zuerst sich deckenden, dann sich etwas mehr auflösenden leichteren Ausschlägen ein, gehört also dem Typus 2 an,

$15^h\,18^m$ in Klingenthal und Georgengrün,

$15^h\,55^m$ in Zwota und Muldenberg,

$16^h\,07^m$ in Schöneck und

$16^h\,20^m$ in Schönberg, Adorf, Markneukirchen und Auerbach je ein schwacher Stoß,

$16^h\,46^m$ ein stärkerer Stoß in Brambach, Raun, Adorf, Markneukirchen, Untersachsenberg und Graslitz, in Auerbach schwache Erzitterung, in Rützengrün und Wernesgrün unterirdisches Rollen, also mit etwas kleinerem vogtländischen Schüttergebiet wie $5^h\,30^m$ und ohne seismogrammatische Registrierung in Leipzig,

$17^h\,18^m$ in Adorf wiederholtes langes Donnern,

$18^h\,05^m$ in Markneukirchen schwache Erschütterung,

19^h in Wilzschhaus etwas stärkerer Stoß,

20^h—21^h in Brambach in unregelmäßigen Zwischenräumen sechs leichte Stöße, in Auerbach, Wernesgrün, Rützengrün, unterirdisches Rollen,

22^h—23^h in Brambach 5 leichte Stöße, in Graslitz, Rautenkranz, Auerbach und Crandorf wiederholtes Donnerrollen, z. T. mit schwachen Erbebungen,

$23^h\,28^m$ in Brambach und

$23^h\,37^m$ in Brambach und Asch leichter Stoß.

Digitized by Google

10. März.

Die Periode der intensiven seismischen Tätigkeit ist überschritten. Letztere verliert jetzt an Energie; die Erbebungen nehmen an Zahl sehr ab, besitzen durchweg nur noch geringe Stärkegrade und konzentrieren sich innerhalb des vogtländischen Schütterareales wesentlich auf dessen Brambach-Markneukirchener Rayon:

$0^h\,43^m$,
$0^h\,47^m$ und
$1^h\,13^m$ schwache Stöße in Brambach,
$1^h\,25^m$ in Brambach ein etwas stärkerer Stoß, in Schnarrtanne Erzittern des Bodens und Rollen,
$1^h\,55^m$ in Markneukirchen stärkerer, in Brambach schwacher Stoß,
$2^h\,10^m$ in Auerbach Erzittern begleitet von Donnerrollen,
$4^h\,25^m$ in Brambach,
$5^h\,30^m$ in Markneukirchen,
6^h in Brambach, Markneukirchen und Bad Elster schwache Stöße, in Adorf langes unterirdisches Rollen,
$7^h\,22^m$ und
$7^h\,34^m$ in Adorf, sowie
$10^h\,15^m$ in Graslitz langes Donnerrollen,
11^h—12^h in Bad Elster mehrfaches leichtes Erzittern,
$19^h\,54^m$ in Brambach und Graslitz leichter Stoß, ebenso
$21^h\,50^m$ in Markneukirchen, sowie
$22^h\,23^m$ in Brambach und Markneukirchen.

11. März.

Die Zahl der Erbebungen nimmt rasch noch mehr ab, diese sind ausnahmslos nur schwach, so:

$1^h\,30^m$ in Markneukirchen,
2^h in Georgenthal bei Klingenthal und Auerbach,
3^h in Georgenthal,
5^h in Bad Elster, Georgenthal, Carolagrün,
$5^h\,50^m$ in Auerbach,
$6^h\,15^m$ in Markneukirchen,
$14^h\,25^m$ in Auerbach,

$14^h\,45^m$ in Graslitz und Eibenberg,
$16^h\,15^m$ in Schöneck,
$18^h\,30^m$ in Bad Elster.

12. März.

Geringfügige über das vogtländische Schüttergebiet zerstreute Lokalstöße und Erzitterungen wiederholen sich in zum Teil großen Zeitzwischenräumen, so:

$0^h\,30^m$—1^h in Auerbach,
$1^h\,20^m$ in Markneukirchen und Auerbach,
$2^h\,35^m$ in Auerbach,
$4^h\,45^m$ in Markneukirchen,
$5^h\,30^m$ und $5^h\,33^m$ in Graslitz,
$6^h\,30^m$ in Auerbach,
$6^h\,40^m$ in Bad Elster und Markneukirchen,
$22^h\,55^m$ in Brambach und Bad Elster,
$23^h\,10^m$ in Bad Elster und Markneukirchen.

13. März.

Etwas häufigere, aber ebenfalls meist schwache Erschütterungen, zwischen ihnen unregelmäßig verteilt, mehrere etwas stärkere Lokalstöße.

$0^h\,10^m$ in Brambach, Markneukirchen und Zwota 3 schwache Stöße, in Auerbach langes Donnerrollen,
$1^h\,02^m$ in Bad Elster leichter Stoß,
$1^h\,30^m$ in Untersachsenberg 2 stärkere, Schläfer erweckende Stöße,
$1^h\,45^m$ in Untersachsenberg,
$2^h\,10^m$ in Graslitz etwas stärkerer Stoß,
$2^h\,16^m$ in Zwota und Klingenthal,
$2^h\,20^m$ in Klingenthal und
$3^h\,30^m$ in Untersachsenberg schwache Stöße,
$8^h\,20^m$ in Plauen 2 stärkere Stöße, welche die Fenster erklirren machen,
$13^h\,15^m$ in Georgengrün schwache Erschütterung,
$13^h\,58^m$ in Adorf stärkerer Stoß,
$14^h\,30^m$ in Bad Elster und Georgengrün schwache Erschütterung,

Digitized by Google

15h 28m in Graslitz und Klingenthal stärkerer, in Georgengrün schwacher Stoß,
15h 30m in Graslitz, Morgenröthe, Schöneck, Adorf stärkerer, in Klingenthal, Rautenkranz und Georgengrün schwächerer Stoß,
17h in Adorf und Georgengrün,
17h 58m und
19h 32m in Adorf schwache Erschütterung,
22h 50m,
22h 55m und
23h 10m in Graslitz unterirdisches Rollen.

14. März.

Im Vergleiche mit dem vorigen Tage erfolgt eine wesentliche Verminderung der Zahl der durchweg lokalen Stöße:

2h 10m in Graslitz,
2h 40m in Graslitz, Eibenberg und Brambach stärkerer, in Auerbach schwächerer Stoß,
3h 05m in Schöneck stärkerer Stoß,
3h 12m in Brambach und
4h 32m in Bad Elster schwache Erschütterung,
15h 32m in Brambach stärkerer Stoß,
18h 55m in Auerbach 6 wellenförmige zitternde Erbebungen,
19h 50m in Bad Elster leichter Stoß.

15. März.

Der 15. März bringt nur von 3 Stößen Kunde, von denen jedoch namentlich der erste etwas beträchtlichere Stärke besessen haben muß, ohne daß sich jedoch die Wirkungen eines derselben am Leipziger Seismometer fühlbar gemacht hätten.

2h in Brambach ein dort fast allgemein bemerkter, also ziemlich starker Stoß, dem lautes Rollen vorangeht und folgt, über dessen weitere Verbreitung aber keinerlei Berichte eingegangen sind. Ihm folgt
2h 45m wiederum in Brambach ein zweiter kräftiger Stoß.

Während des übrigen Tages scheint im ganzen vogt-

Digitized by Google

ländischen Schüttergebiete Ruhe geherrscht zu haben, welche nur

$17^h\,31^m$ in Graslitz durch einen schwachen Stoß unterbrochen wird.

16. März.

Der Ruhezustand hält bis zum Nachmittag des 16. März an, dann erst setzen von neuem einige schwache Erschütterungen ein, so

$15^h\,30^m$ und
$18^h\,20^m$ in Brambach,
$19^h\,50^m$ in Graslitz und Eibenberg,
$20^h\,02^m$ in Graslitz und Bad Elster,
$20^h\,15^m$ in Markneukirchen und Brambach,
$20^h\,20^m$ und
$22^h\,15^m$ in Brambach,
$23^h\,52^m$ und
$23^h\,55^m$ in Klingenthal.

17. März.

Während des 17. März herrscht vollkommene makroseismische Stille, die nur zeitweilig durch lokales unterirdisches Rollen unterbrochen wird.

18. März.

Fast das Gleiche gilt vom Vogtlande während des 18. März:

$1^h\,15^m$ mehrfaches unterirdisches Rollen in Auerbach und
$22^h\,28^m$ ein ziemlich kräftiger von Donnern begleiteter Stoß in Markneukirchen deuten auf die bloß schlummernde, makroseismische Tätigkeit hin.

Auffallenderweise aber wird außerhalb des chronischen vogtländischen Schütterkreises

$20^h\,15^m$ aus Wurzbach (Reuß) eine Erbebung mit Donnerrollen gemeldet.

Am 19., 20. und 21. März herrscht allgemeine Ruhe. Nur erfolgt am

19. März

$1^h\,15^m$ in Markneukirchen, am

Digitized by Google

20. März

3h in Markneukirchen und
22h 45m in Auerbach, und am

21. März

0h 45m in Auerbach eine schwache Erschütterung, während
11h 30m Graslitz, Frankenhammer, Untersachsenberg, Klingenthal, Markneukirchen, Fleißen und Brambach, sämtlich im Gebiete der alten, sich stets wiederbelebenden Epizentralzone, von einem etwas stärkeren Stoße betroffen werden, der von der Gegend von Markneukirchen ausgegangen sein muß, wo er sich besonders heftig äußerte und der sich noch in Auerbach als lauter unterirdischer von SSO (Markneukirchen) kommender Donner bemerklich machte, ohne daß jedoch das Leipziger Seismometer von den Wellen dieses Stoßes erreicht worden wäre.
17h 30m in Brambach 2 leichte Stöße, in Markneukirchen schwache Erschütterung, ebenso
18h 05m in Frankenhammer.

22. März.

Ein Tag etwas energischerer seismischer Tätigkeit, die immer wieder von der alten Epizentralzone ausgeht:

1h 10m schwacher Stoß in Markneukirchen,
5h 30m etwas stärkerer Stoß in Untersachsenberg,
11h 55m in Untersachsenberg stärkerer, in Markneukirchen, Adorf und Brambach schwacher Stoß, in dem nördlich vorliegenden Auerbach zitterndes Schwanken des Bodens. Der Stoß hat sich mikroseismisch fortgepflanzt bis Leipzig und hier eine gezähnelte Verdickung der Tageslinie erzeugt (Typus 1, No. 41 der Tabelle).
16h 08m in Untersachsenberg stärkerer, in Eibenberg, Graslitz und Brambach schwacher Stoß, in Auerbach Donnerrollen.
19h 49m in Brambach, Markneukirchen und Untersachsenberg ziemlich starker, in Graslitz, Hirschenstand und

Tannebergsthal schwächerer Stoß, in Auerbach und Adorf unterirdisches Rollen; — am Leipziger Seismometer schwache gezähnelte Verdickung der Registrierlinie (Typus 1, No. 42 der Tabelle).

$22^h\,45^m$ leichte Erschütterung in Brambach,

$23^h\,05^m$ unterirdisches Rollen in Auerbach.

23. März.

Etwas geringere seismische Äußerungen:

$4^h\,10^m$ leichter Stoß in Graslitz,

5^h etwas stärkerer Stoß in Adorf,

$7^h\,02^m$ schwache Erschütterung in Tirpersdorf,

$8^h\,25^m$ in Untersachsenberg stärkerer, in Markneukirchen, Klingenthal, Grünbach schwacher Stoß,

17^h schwache Erbebung in Markneukirchen,

$23^h\,30^m$ ziemlich kräftige Erschütterung in Brambach und Markneukirchen.

24. März.

Die Zahl der Erschütterungen wächst wieder um etwas.

$8^h\,30^m$ stärkerer Stoß in Brambach und Fleißen,

9^h schwache Erschütterung in Markneukirchen,

10^h stärkere und

$10^h\,30^m$ schwächere Erschütterung in Georgengrün,

19^h schwacher Stoß in Frankenhammer,

$20^h\,35^m$ in Raun nördlich von Brambach 2 etwas stärkere Stöße,

$22^h\,30^m$ in Lengenfeld und Eich schwache Erschütterungen,

$22^h\,40^m$ in Frankenhammer leichter Stoß,

23^h in Grünbach explosiver unterirdischer Schlag.

Während alle diese Orte dem chronischen Schüttergebiete des Vogtlandes angehören, spielt sich unabhängig hiervon

$0^h\,30^m$ ein kleines Beben in der Gegend von Greiz ab. In dieser Stadt selbst, namentlich aber nördlich von ihr in Lunzig und Knottengrund erfolgt ein ruckartiger Stoß, der die Fenster klirren macht und von langgezogenem unterirdischem Getöse begleitet ist.

Digitized by Google

25. März.

Nur in den 3 epizentralen Orten Brambach, Fleißen und Markneukirchen finden Erbebungen statt, nämlich

$1^h\,55^m$ ein schwacher und

2^h ein ziemlich starker Stoß, der in Brambach viele Schläfer weckt.

26. März.

Vom 26. März werden keine, vom

27. März

nur aus Tirpersdorf (zwischen Ölsnitz und Falkenstein) aus der Zeit zwischen $0^h\,30^m$ bis $1^h\,30^m$ einige Stöße gemeldet.

28. März.

Ausschließlich im südwestlichen Endgebiete der epizentralen Schütterregion finden Erschütterungen statt:

$22^h\,25^m$ in Bad Elster ein ziemlich kräftiger Stoß,

$23^h\,43^m$ in Oberlohma und Wildstein zwischen Brambach und Franzensbad ein leichter Stoß.

29. März.

$6^h\,30^m$ leichte Erbebung in Bad Elster,

$22^h\,19^m$ kurzer, ziemlich heftiger, allgemein empfundener Stoß in Brambach und Markneukirchen, schwacher Stoß in Untersachsenberg.

30. März.

$8^h\,50^m$ ein etwas stärkerer Stoß in Brambach und Markneukirchen,

$8^h\,58^m$ schwächerer Stoß in Brambach, Markneukirchen und Untersachsenberg,

$16^h\,40^m$ ziemlich kräftiger Stoß in Brambach,

$23^h\,07^m$ ebenso in Brambach, leichter Stoß in Bad Elster,

$23^h\,51^m$ ziemlich starker Stoß in Brambach und Markneukirchen, schwacher in Bad Elster und Untersachsenberg.

Digitized by Google

31. März.

$21^h\,45^m$ stärkerer und eine Minute später ein schwacher Stoß in Brambach, Fleißen und Markneukirchen.

1. April.

Auch heute beschränken sich die seismischen Ereignisse auf den Brambach-Markneukirchener Schütterrayon:

$1^h\,05^m$ hierselbst schwache Erbebung,
$6^h\,26^m$ desgleichen,
$8^h\,58^m$ desgleichen,
$9^h\,30^m$ ziemlich starker Stoß in Brambach, schwacher in Markneukirchen,
$9^h\,32^m$ schwacher,
$21^h\,22^m$ stärkerer Stoß in Brambach, ebendort
$21^h\,32^m$,
$23^h\,01^m$ und
$23^h\,05^m$ schwache Stöße.

2. April.

An diesem und den folgenden beiden Tagen vollzieht sich eine noch größere räumliche Beschränkung der seismischen Tätigkeit und zwar fast ausschließlich auf die Gegend von Brambach. Hierselbst machen sich zu folgenden Zeiten schwache Erschütterungen bemerklich:

$9^h\,30^m$,
$10^h\,45^m$,
$11^h\,15^m$ und
$22^h\,20^m$, die beiden letzteren auch in Markneukirchen und Untersachsenberg,
$23^h\,54^m$.

3. April.

Wiederum in Brambach werden beobachtet:

$0^h\,15^m$ ein ziemlich kräftiger Stoß (auch in Fleißen),
$0^h\,21^m$ ein schwächerer Stoß, ferner
am Vor- und Nachmittag mehrere leichte Erschütterungen,
$22^h\,15^m$ und
$22^h\,17^m$ je ein etwas stärkerer Stoß,

Digitized by Google

während aus Markneukirchen ziemlich starke Stöße gemeldet werden von

1^h,
$10^h\ 30^m$ und
12^h.

4. April.

Selbst in Brambach findet während des 4. April nur $23^h\ 20^m$ eine schwache Erschütterung statt.

5. April.

Im ganzen Schüttergebiete und auch auf dem Schauplatze der letzten Erbebungen herrscht Ruhe, nur

$15^h\ 19^m$ und
20^h machen sich in Untersachsenberg einige leichte Bodenschwankungen bemerklich, während am

6. und 7. April

nirgends eine Unterbrechung des Ruhezustandes erfolgt. Am

8. April

wird dieser wiederum nur in Brambach

$15^h\ 15^m$ durch eine schaukelnde Erbebung und
$17^h\ 55^m$ durch einen auch im Freien gefühlten Stoß unterbrochen, der auch in Fleißen bemerkt wird.

9. April.

Überall herrscht Ruhe.

10. April.

$8^h\ 47^m$ unterirdisches Rollen in Adorf,
$9^h\ 15^m$ schwache Erschütterung in Untersachsenberg,
$9^h\ 50^m$ stärkerer Stoß in Graslitz und Eibenberg, Rollen in Adorf.

11. April.

Nur in Untersachsenberg finden schwache Erschütterungen statt:

6^h,
$19^h\ 20^m$,
$22^h\ 35^m$ und
$23^h\ 50^m$, letztere auch in Brambach.

12. April.

Unabhängig von einander spielen sich im nordöstlichen Schütterrayon in Untersachsenberg und im Südwesten in Brambach schwache Erschütterungen ab:

$0^h\,05^m$ und
$1^h\,30^m$ in Brambach,
2^h und
$3^h\,15^m$ in Untersachsenberg.

13. April.

Ähnliches gilt vom 13. April, nur daß zu Brambach und Untersachsenberg noch das zwischen beiden gelegene Markneukirchen hinzukommt:

$0^h\,05^m$ etwas kräftigerer Stoß in Markneukirchen,
$1^h\,30^m$ in Brambach unterirdisches Rollen,
2^h schwacher Stoß in Markneukirchen, ebenso
$10^h\,30^m$ in Untersachsenberg und in Fleißen östlich von Brambach.

14. April.

Fast vollkommene Ruhe, nur

$13^h\,26^m$ eine leichte Erschütterung in Untersachsenberg.

15. bis 20. April.

Die seismische Tätigkeit scheint jetzt ganz erloschen zu sein, flackert aber am

21. April

wieder auf, um sich von nun an, hier und da einen Tag überspringend, als letzter Abschnitt des gesamten Erdbebenschwarmes, in wesentlich auf den Brambach-Markneukirchener Rayon beschränkten schwächeren Lokalstößen kundzugeben, noch 2 Stöße von großer Schütterstärke zu produzieren und dann sprungweise zu erlöschen.

Am 21. April ereignet sich nur

22^h in Markneukirchen ein stärkerer Stoß und in Brambach eine schwächere, jedoch fast allgemein wahrgenommene Erschütterung.

Digitized by Google

23. April.

$14^h\,36^m$ in Untersachsenberg kurzer Stoß,
$21^h\,55^m$ in Silberbach nördlich und Hirschenstand östlich von Graslitz, sowie in Grün und Thonbrunn bei Bad Elster schwächere Erschütterung.

24. April.

$0^h\,10^m$ stärkerer Stoß in Markneukirchen,
$8^h\,48^m$ Schwanken des Bodens in Untersachsenberg,
$8^h\,49^m$ ebendort 3 rasch aufeinanderfolgende Stöße,
$20^h\,15^m$ eine ziemlich heftige, allgemein bemerkte Erschütterung in Brambach und dem nahen Fleißen,

25. April.

Nur im Südwesten des Schütterstreifens spielen sich Erschütterungen ab, so:

$0^h\,02^m$ etwas stärkerer Stoß in Brambach, sowie in dem benachbarten Schönberg und Fleißen, ferner in Grün und Thonbrunn,
$0^h\,06^m$ schwache Erschütterung in Brambach, ebenso
$5^h\,55^m$,
$8^h\,35^m$ und
$9^h\,50^m$ stärkerer Stoß dortselbst,
$10^h\,45^m$ und
$10^h\,48^m$ schwächerer Stoß in Brambach und Fleißen, die beiden letzteren in Adorf als starkes Rollen, endlich
$21^h\,30^m$ schwache Erschütterung in Brambach.

26. April.

Wiederum ist es Brambach nebst Nachbarschaft, welches von schwachen Erschütterungen betroffen wird: so

$6^h\,23^m$,
$7^h\,24^m$,
$8^h\,09^m$.

27. April.

In dem Brambacher Herde steigert sich die seismische Tätigkeit und produziert:

$7^h\,30^m$ einen schwächeren,

$11^h\,38^m$ einen ziemlich heftigen Stoß in Brambach und Elster, dem einige schwache Stöße folgen,

$16^h\,45^m$ in Brambach, Fleißen, Haslau, Thonbrunn eine schwächere Erschütterung,

$17^h\,08^m$ einen in Brambach und Fleißen, namentlich aber in Bad Elster und Markneukirchen so heftigen Stoß, daß seine Wirkungen an die pleistoseismischen Vorgänge im Anfang März erinnern. Er macht Fenster klirren, verschiebt Stühle, bringt Bilder und Hängelampen zum Pendeln und hier und dort lose Gegenstände zum Fallen, wird auch im Freien gefühlt und von sehr lautem Donner begleitet. Auch in Asch, Grün, Jugelsburg, Adorf und Plauen, sowie in Haslau und Frankenhammer äußert sich obiger Hauptstoß zum Teil noch recht kräftig. Derselbe muß in seinem Epizentralgebiete den Stärkegrad 5 besessen haben.

Seine Wirkungen erstreckten sich von Brambach aus über den westlichen Streifen des vogtländischen Schüttergebietes im Süden bis Haslau, im Norden über Markneukirchen und Adorf bis Plauen, machten sich hingegen im nordöstlichen Abschnitte des letzteren (Graslitz-Auerbach-Schönhaide) nicht bemerklich, wohl aber in nördlicher Richtung mikroseismisch noch in Leipzig fühlbar. Sein hier registriertes Seismogramm (No. 43 der Tabelle) gehört dem Typus 2 an, zeigt jedoch im ersten Teile seiner Hauptphase auffällig große Amplituden, nämlich bei der O-W-Komponente solche von 11 μ und bei der N-S-Komponente solche von 10 μ.

In Untersachsenberg ist der Erdboden während des ganzen Tages, am lebhaftesten zur Zeit des obigen Stoßes, in Vibrierung, die sich auch in dem benachbarten Silberbach fühlbar macht.

$21^h\,59^m$ ziemlich kräftiger Stoß in Brambach und Fleißen,

$22^h\,01^m$ schwächere Erschütterung in Brambach.

Digitized by Google

28. April.

$1^h\,28^m$ in Markneukirchen ziemlich starker Stoß, Schläfer werden geweckt,

11^h bis 12^h in Untersachsenberg fortwährende schwankende Bewegung des Bodens,

$17^h\,01^m$,

22^h und

$22^h\,05^m$ schwächere Erschütterungen in Brambach.

29. April.

Während des ganzen Vormittags wiederholen sich in Untersachsenberg in kurzen Zeitzwischenräumen leichte Schwankungen und schwaches Schüttern des Bodens.

30. April.

Allgemeine Ruhe.

1. Mai.

Nur $16^h\,10^m$ erfolgt in der Gegend von Adorf ein ziemlich energischer Stoß.

2. Mai.

Erst spät abends findet innerhalb des alten epizentralen Schütterstriches eine Gruppe zum Teil heftiger Stöße statt, denen nur ein schwacher Lokalstoß in Markneukirchen und leichte Erschütterungen in Adorf und Brambach vorangehen.

$17^h\,30^m$ in Markneukirchen ein schwacher Stoß, ebenso

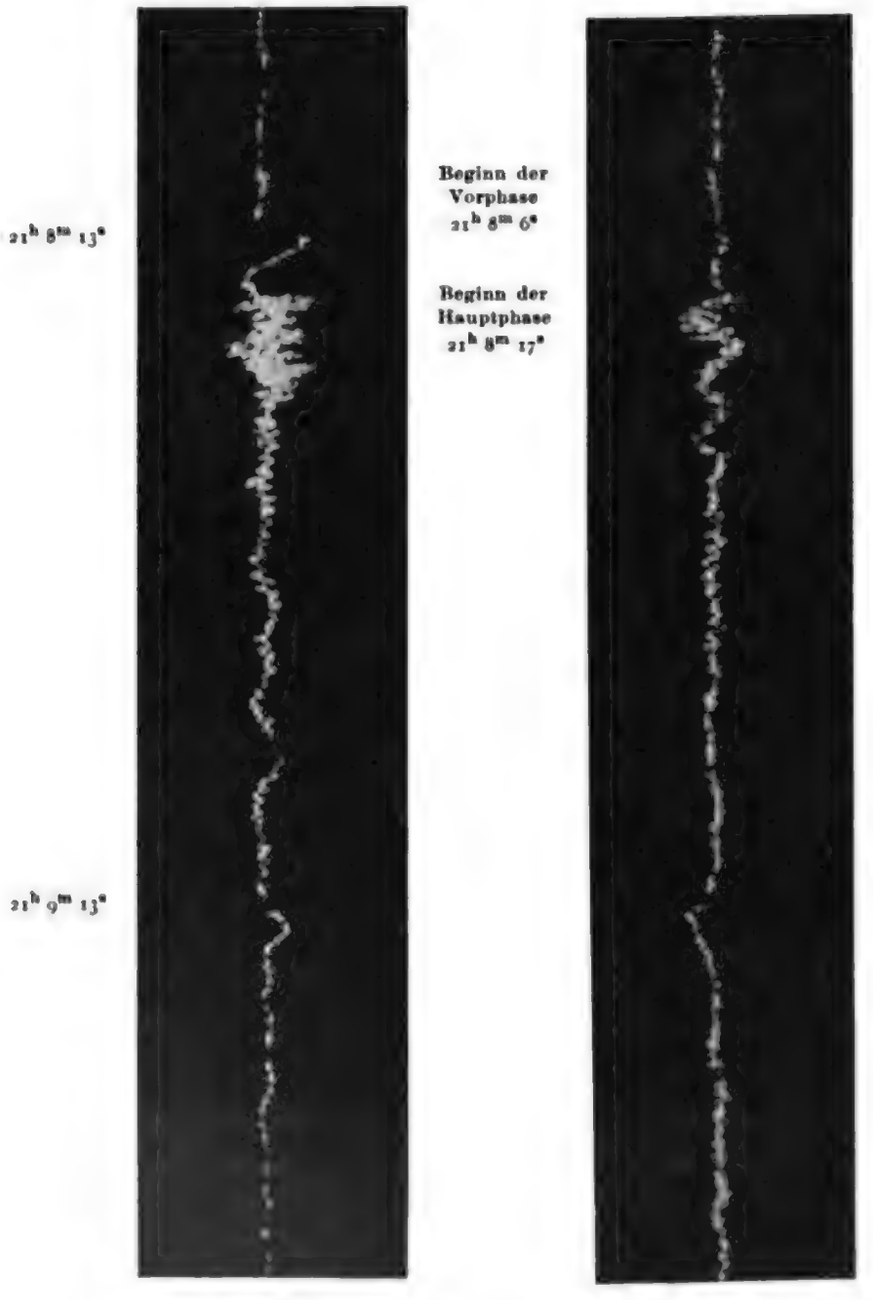
21^h in Adorf,

$21^h\,05^m$ in Brambach und Adorf eine wellenförmig rollende Erschütterung.

$21^h\,08^m$ sehr kräftiger Stoß in Markneukirchen (hier 2 Stöße direkt nacheinander; Wände knistern, Türen klappern, Fenster, Gläser und Tassen klirren, lauter Donner) in Adorf, Asch, Brambach, ferner in Frankenhammer, Graslitz, Eibenberg, Silberbach, Untersachsenberg und Klingenthal, von wo aus er sich noch in Lengenfeld als ziemlich starke wellenförmige Bewegung bemerklich macht, welche mit einem ruckartigen Stoße endet. Demnach hat auch dieses Beben das gesamte chronische vogtländische Schüttergebiet in Mitleidenschaft gezogen.

Digitized by Google

Das Leipziger Seismogramm dieses Hauptstoßes (Figur 25 und 26 und No. 44 der Tabelle) steht an der unteren Grenze des Typus 3, zeigt aber nur bei der N-S-Komponente den ziemlich



Figur 25. N-S-Komponente. Figur 26. O-W-Komponente.

Seismogramm des Erdstoßes vom 2. Mai 21h 8m 6s.
(Nr. 44 der Tabelle.)

scharfen Einsatz der Vorphase, was bezeichnend ist für den rein südlichen Heerd des Bebens, und weist eine Dauer der letzteren von 11 Sekunden auf. Diese im Vergleiche mit der Vorphase der übrigen Seismogramme vom Typus 3 (No. 1, 19, 21, 22, 23, 26, 29,

Digitized by Google

30, 33, 37 der Tabelle) um durchschnittlich 2,4 Sekunden geringere Länge dürfte daraus zu erklären sein, daß das Zentrum dieses Stoßes etwas weiter nördlich als das der übrigen Stöße zu suchen ist. Bemerkenswert ist ferner, daß die O-W-Komponente im Beginne der Hauptphase gegenüber den sonstigen Erfahrungen (vergl. obige Nummern der Tabelle) geringere Amplituden aufweist, als die N-S-Komponente. Endlich beginnt bei beiden Komponenten der zweite langperiodige Abschnitt der Hauptphase bereits 20, sonst meist erst 23—24 Sek. nach Einsatz der letzteren.

An diesen letzten Hauptstoß des Erdbebenschwarmes schließen sich

$21^h\,10^m$ bis $23^h\,30^m$ in Brambach, Markneukirchen, Adorf, Frankenhammer, Graslitz, Eibenberg, Untersachsenberg, Klingenthal mehrere (in Brambach mindestens 8) schwache Lokalstöße an.

3. Mai.

$1^h\,55^m$ in Markneukirchen und
$2^h\,12^m$ in Graslitz schwache Stöße.

Mit ihnen findet die am vorigen Abend eingeleitete Gruppe von Erschütterungen ihren Abschluß. Von hier ab herrscht während des 3. Mai, sowie am

4. und 5. Mai

makroseismische Ruhe, die aber am Morgen des

6. Mai

nochmals durch Anhub einer Anzahl anfänglich schwächerer, dann etwas stärkerer Stöße in Brambach unterbrochen wird:

$6^h\,45^m$ und
$8^h\,30^m$ schwacher,
$12^h\,14^m$,
$12^h\,57^m$ und
$22^h\,50^m$ je ein etwas stärkerer Stoß.

Letzterem folgt am

7. Mai

$1^h\,44^m$ in Brambach unterirdisches Rollen, darauf ein etwas stärkerer Stoß.

Digitized by Google

Die letzten Nachklänge des gesamten Erdbebenschwarmes geben sich am

15. Mai

$16^h\ 20^m$ in Untersachsenberg und am

18. Mai

$17^h\ 29^m$ ebenfalls in Untersachsenberg

als leichte Stöße kund, in welchen der Erdbebenschwarm nach dreizehnwöchiger Dauer austönt und seismischer Ruhe Platz macht.

Die äußere mikroseismische Schütterzone, die in ihr registrierten Seismogramme und deren Vergleichung mit denen der Leipziger Erdbebenwarte.

Ausdehnung der peripheren mikroseismischen Schütterzone. Wie von vornherein vorauszusetzen, waren die peripheren Grenzen der von den Hauptstößen des Erdbebenschwarmes erzeugten fühlbaren Erschütterungen nicht zugleich diejenigen der mikroseismischen Bodenbewegungen, in welche dieselben austönten, vielmehr haben sich diese letzteren noch weithin fortgepflanzt.

Durch gütige und dankenswerte briefliche Mitteilungen von seiten der Vorstände der seismologischen Observatorien zu Potsdam (Herr Helmert), Hamburg (Herr Schütt), Göttingen (Herr Wiechert), Straßburg (i. V. Herr Weigand), Pribram (Herr Benndorf in Wien) und Triest (Herr Mazelle) bin ich in die Lage gesetzt, über das Verhalten und über die seismogrammatischen Ergebnisse der an jenen Orten aufgestellten Seismometer zu berichten, Vergleiche zwischen diesen und den Aufzeichnungen des Leipziger Seismometers anzustellen und hieraus gewisse Schlußfolgerungen zu ziehen.[1])

1) Die mir damals von Herrn Prof. Dr. Weigand brieflich mitgeteilten seismogrammatischen Zahlen sind unterdessen in den „Monatsberichten der Kaiserl. Hauptstation für Erdbebenforschung zu Straßburg Nr. 3, März 1903“ zur Veröffentlichung gelangt, — die negativen Ergebnisse der Registrierung von seiten des Hamburger Seismometers aus den ebenfalls seitdem publizierten „Mitteilungen der Horizontalpendel-Station Hamburg Nr. 2 und 3, Februar und März 1903“ ersichtlich.

Digitized by Google

Im königl. geodätischen Institut zu **Potsdam** war am 21. Februar die mikroseismische Bewegung infolge des stürmischen Windes sehr stark. Zur Zeit des an diesem Tage im Vogtlande erfolgten Hauptstoßes, $22^h 9^m$, fanden Bewegungen bis etwa 0,015 mm statt, wie sie von Erdbebenstörungen von gleicher oder geringerer Amplitude nicht zu unterscheiden sind, während größere Störungen nicht eintraten.

Am 5., 6. und 7. März, den Tagen der stärksten vogtländischen Stöße vollzogen sich ebenfalls mikroseismische Bewegungen mit einer Amplitude von rund 0,005 mm; größere Störungen sind auch an diesen Tagen nicht vorgekommen.

Am 8. März hörten die mikroseismischen Bewegungen fast ganz auf. Eine Erdbebenstörung wurde auch während dieses Tages nicht verzeichnet.

In der Horizontalpendel-Station **Hamburg** hat die herrschende, überaus starke mikroseismische Unruhe die Erkennung und genaue Messung der etwa durch dieselbe verdeckten Beben unmöglich gemacht.

Auch in dem k. k. astronomisch-meteorologischen Observatorium zu **Triest** konnten an den dortigen Seismometern vom 21. Februar bis zum 8. März keine seismischen Störungen konstatiert werden.

In **Příbram**, wo seit dem Februar d. J. 2 WIECHERTsche Pendelseismometer aufgestellt sind, das eine in den Bauen des Adalbertschachtes in 1115 m Tiefe unterhalb des oberflächlichen Apparates, wurden folgende hier in Betracht kommende Störungen registriert:

21. Februar, $22^h 9^m 31{,}5^s$ starke mikroseismische Unruhe des oberen Pendels, aber keine Andeutung des zu dieser Zeit im Vogtlande erzeugten Bebens.

5. März; oberirdisches Pendel: schwache im Maximum 0,3 mm erreichende Verbreiterung der Registrierlinie.

Beginn: $1^h 50^m 26^s$.

Maximum: $1^h 50^m 46^s$.

Länge des Bebens etwa 40 Sekunden.

Unterirdisches Pendel: mit Sicherheit kein Beben zu erkennen.

Später am 5. März und während des 6. und 7. März war das oberirdische Pendel wegen Reparatur des Uhrwerkes nicht im Gang.

Das unterirdische Pendel zeigt:
$21^h\ 37^m\ 21^s$ und
$21^h\ 55^m\ 41^s$ schwache Störungen, ebenso am
6. März $5^h\ 57^m$ und
$20^h\ 11^m$ Spuren von solchen, während am
7. März selbst solche sich nicht bemerkbar machten. Am
8. März zeigt die N-S-Komponente am oberirdischen Apparat $7^h\ 22^m\ 58^s$ eine Verstärkung der seismogrammatischen Linie bis zu 0,4 mm, während am unterirdischen Seismometer keine Störung zu konstatieren ist.

Viel schärfer, in größerem Maßstabe und in speziellerer Gliederung gelangten die nämlichen Beben in **Göttingen** und **Straßburg** trotz deren weiterer Entfernung vom vogtländischen Erdbebenherde zur Registrierung, und zwar in Göttingen durch das Wiechertsche, in Straßburg durch das Vicentinische Seismometer. Die sich aus den dort gelieferten Seismogrammen ergebenden Zahlen sind aus umstehender Tabelle zu ersehen und hier des Vergleiches wegen mit den entsprechenden Leipziger und Pribramer Aufzeichnungen zusammengestellt worden.

Aus obigen Darlegungen wird zunächst offenbar, daß die vom vogtländischen Zentrum ausgegangenen seismischen Wellen zwar nicht bis nach Triest, also bis zu einer Entfernung von etwa 540 km gelangt sind, daß sie sich aber, wie die Registrierungen des Seismometers in Straßburg beweisen, in südwestlicher Richtung mindestens 400 km weit fortgepflanzt haben. Demnach müßten dieselben auch den Seismometern zu Potsdam fühlbar gewesen sein, scheinen hier aber bei der Geringfügigkeit der von ihnen bewirkten Ausschläge durch die zur Zeit der vogtländischen Hauptstöße herrschende Bodenunruhe verdeckt worden zu sein. Hamburg hingegen dürften die von dem dortigen Horizontalpendel registrierbaren Bebenwellen kaum noch erreicht haben.

Die Winzigkeit der von den Seismometern in Pribram registrierten Aufzeichnungen im Vergleiche mit den in Leipzig gelieferten ist auffällig, da erstgenannter Ort vom vogtländischen Epizentrum nur um etwa 20 km weiter entfernt ist, als Leipzig, also bei Voraussetzung allseitig gleichmäßiger Fortpflanzung der seismischen Wellen Ausschläge von fast gleichen Amplituden und Perioden wie die Leipziger Seismogramme aufzuweisen haben müßte.

Digitized by Google

Vergleichung der Seismogramme von Leipzig, Göttingen, Straßburg und Pribram.

Nummer der Tabelle auf S. 526	Datum	Von Leipzig und Göttingen							Von Leipzig und Straßburg			Von Leipzig und Pribram	
		Erster Einsatz			Dauer der Vorphase in Sekunden		Maximum der Amplituden in μ		Einsatz der Hauptphase			Erster Einsatz	
		Leipzig	Göttingen [1]	Differenz in Sekunden	Leipzig	Göttingen	Leipzig	Göttingen	Leipzig	Straßburg	Differenz in Sekunden	Leipzig	Pribram (sehr schwach)
11	März 5.	$1^h\,50^m\,37^s$	($1^h\,51^m\,13^s$)	—	12,6	25	16	4	$1^h\,50^m\,50^s$	$1^h\,52^m\,12^s$	82	$1^h\,50^m\,37^s$	$1^h\,50^m\,26^s$
17	„ 5.	$16^h\,49^m\,29^s$	($16^h\,49^m\,32^s$)	—	—	26	11	2	—	—	—	—	—
19	„ 5.	$21^h\,37^m\,23^s$	($21^h\,37^m\,35^s$)	—	13,2	32	28	8	$21^h\,37^m\,36^s$	$21^h\,38^m\,59^s$	83	$21^h\,37^m\,23^s$	$21^h\,37^m\,21^s$
21	„ 5.	$21^h\,55^m\,49^s$	($21^h\,56^m\,7^s$)	—	13,2	24	27	3	$21^h\,56^m\,2^s$	$21^h\,58^m\,20^s$	—	$21^h\,55^m\,49^s$	$21^h\,55^m\,41^s$
26	„ 6.	$5^h\,57^m\,47^s$	($5^h\,57^m\,32^s$)	—	13,6	28	26	9	$5^h\,58^m\,1^s$	$5^h\,59^m\,16^s$	75	$5^h\,57^m\,47^s$	Spur
29	„ 6.	$20^h\,11^m\,34^s$	$20^h\,11^m\,52^s$	18	13,8	25	18	2	—	—	—	$20^h\,11^m\,34^s$	Spur
30	„ 7.	$6^h\,1^m\,10^s$	$6^h\,1^m\,26^s$	16	13,8	26	24	2	—	—	—	—	—
37	„ 8.	$7^h\,22^m\,50^s$	$7^h\,23^m\,16^s$	26	13,5	30	21	2	$7^h\,23^m\,4^s$	$7^h\,24^m\,31^s$	87	$7^h\,22^m\,50^s$	$7^h\,22^m\,58^s$

1) Die in Klammern eingestellten Zahlen leiden an einer Unsicherheit von $\pm$ 1 Minute.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen. Behufs Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der von den Hauptstößen des Erdbebenschwarmes erzeugten Wellen würden innerhalb ihres makroseismischen Erschütterungskreises nur die von dem Seismometer zu Leipzig, also an einer einzigen Stelle, fixierten Zeiten zu Gebote stehen, so daß auf den Versuch einer Feststellung der Geschwindigkeit, mit der die Wellen die Entfernung vom Interzentrum bis zur äußeren Grenze jenes Gebietes durchliefen, verzichtet werden muß.

Dahingegen liegen aus dem Areale außerhalb des makroseismischen Schütterbereiches Zeitbestimmungen vor, welche als Grundlage zur Ermittelung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der nur noch mikroseismischen Wellen in der peripheren Zone ihrer Ausdehnung und zwar zunächst bis Straßburg dienen können. Bei diesem Versuche ist zwar die vollkommene Genauigkeit der Zeitfixierung durch die Leipziger und Straßburger Erdbebenwarte vorausgesetzt, doch übt bei dieser, ganz abgesehen von der kaum zu erwartenden mathematischen Übereinstimmung der Uhren, bereits die Ablesung der seismographischen Aufzeichnung einen persönlichen Einfluß aus, so daß man den erzielten Zeitangaben an und für sich einen Spielraum von etwa + 2—3 Sekunden zugestehen muß.

Auf der Homoseiste von Leipzig liegt sowohl nach seiner gleichen Entfernung vom Epizentrum, wie nach dem gleichen minimalen Grade der dort fühlbar gewesenen Bodenbewegungen Bamberg. Es ist demnach statthaft, die Leipziger Zeitpunkte des Einsatzes der mikroseismischen Erschütterungen auf den letztgenannten Ort zu übertragen. Für diesen Zweck wurde gerade Bamberg gewählt, weil dasselbe in dem das vogtländische Epizentrum mit Straßburg verbindenden Radius gelegen ist, der die Fortpflanzungsrichtung der sich bis zu letzterer Stadt ausbreitenden mikroseismischen Wellen bezeichnet. Auf demselben beträgt die Entfernung Straßburgs von der Leipziger Homoseiste 270 km.

In der Straßburger Zentralstation sind die aus der Tabelle S. 510 ersichtlichen Beben nur von VICENTINIS Seismometer aufgezeichnet worden und von diesen nur ihre Hauptphasen, nicht aber ihre Vorphase. Es kann sich deshalb bei einem Vergleiche der Eintrittszeiten der Beben in Leipzig und Straßburg ausschließlich um die Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der die

Digitized by Google

Hauptphase des Seismogrammes erzeugenden, vom Epizentrum ausgehenden Oberflächenwellen handeln. Zu dieser Berechnung dürfen nur Nr. 11, — 19, — 26 und 37 herangezogen werden, weil bei Nr. 21 nach der sich ergebenden, übergroßen Zeitdifferenz eine irrtümliche Zeitbestimmung wahrscheinlich ist. Da nach obigem die übrigen in die Tabelle eingetragenen Unterschiede zwischen Leipziger und Straßburger Eintrittszeit der Hauptwellen auch für Bamberg und Straßburg gelten, so hat die Zurücklegung der 270 km langen Wegstrecke zwischen diesen beiden Orten durch die bis jenseits des Rheines gelangten Hauptwellen einen Zeitaufwand von 82, —83, —75 und 87 Sekunden im Durchschnitt von 82 Sekunden erfordert. Die nach SW gerichtete Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Hauptwellen in der peripheren Randzone des Schütterkreises betrug demnach durchschnittlich 3300 m pro Sek. Diese Zahl stimmt mit dem von OMORI[1]) aus dem Vergleiche einer größeren Zahl von japanischen und europäischen Beben erzielten Maße (3,3 km) durchaus, mit dem von ETZOLD[2]) in ähnlicher Weise ermittelten (3,5 km) ziemlich genau überein.

Auf eine derartige Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen mit Hilfe der in Göttingen registrierten Eintrittszeiten wäre zu verzichten, da nach WIECHERT bei dem größten Teile der letzteren eine Unsicherheit von ± 1 Minute besteht. Zieht man jedoch zu diesem Zwecke die beiden einzigen ganz sicheren der hier in Betracht kommenden Zeitangaben von Nr. 29 und 30 heran, so gelangt man auf Grund obiger Tabelle (S. 510) zu folgenden Ergebnissen:

Nr. 29. Eintrittszeit des 1. Einsatzes in Leipzig = $20^h\,11^m\,34^s$ + Dauer der Vorphase = 14^s, also Eintritt der Hauptwellen = $20^h\,11^m\,48^s$ (vergl. auch Nr. 29 der Gesamttabelle S. 527);

in Göttingen 1. Einsatz = $20^h\,11^m\,52^s$ + Dauer der Vorphase = 25^s, also Eintritt der Hauptwellen = $20^h\,12^m\,17^s$.

Differenz beider Eintrittszeiten = 29^s.

Nr. 30, in Leipzig 1. Einsatz = $6^h\,1^m\,10^s$ + Dauer der Vorphase = 14^s, also Eintritt der Hauptwellen = $6^h\,1^m\,24^s$, (vergleiche auch Nr. 30 der Gesamttabelle S. 527).

---

1) OMORI, Publications of the Earthquake Investigation Committee. Tokio Nr. 5, 1901, pag. 80.

2) ETZOLD. Berichte der Kgl. S. Ges. d. Wiss., Leipzig 1902, Juli 28., S. 321.

Digitized by Google

In Göttingen 1. Einsatz = $6^h\ 1^m\ 26^s$ + Dauer der Vorphase = 26^s, also Eintritt der Hauptwellen = $6^h\ 1^m\ 52^s$.

Die Differenz des Eintrittes der Hauptwellen in Leipzig und in Göttingen beläuft sich demnach auf $27{,}5^s$, woraus sich bei dem Entfernungsunterschiede beider Orte vom Heerd (100 km) eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Oberflächenwellen von 3600 m pro Sek. ergeben würde, — eine Zahl, die der oben genannten, von Etzold für andere Beben ermittelten sehr nahe kommt.

Viel schneller bewegten sich die Erdwellen, welche in Leipzig und Göttingen die Vorphase der Seismogramme geliefert haben. Mit Zugrundelegung der in der Tabelle S. 510 wiedergegebenen Differenzen ihres ersten Einsatzes an diesen beiden Orten, nämlich 18^s bei Nr. 29 und 16^s bei Nr. 30, im Mittel 17^s, ergibt sich eine Geschwindigkeit von 5900 m in der Sekunde, mit welcher diese Erdwellen die 100 km weite Entfernung von Leipzig bis Göttingen durchlaufen haben, — eine Zahl, die freilich weit hinter der zurückbleibt, welche Omori[1]) und Etzold l. c. für Fernbeben feststellen konnten (14,1 und 10 km).

Progressive Verkleinerung der Bodenbewegung. Von besonderem Interesse ist es, aus den Göttinger Aufzeichnungen (Tabelle S. 510) zu ersehen, in welchem Grade sich die auf dem Wege dorthin, d. h. von der Leipziger Homoseiste aus bis Göttingen stattgehabte Verkleinerung der Amplituden der Bodenbewegung wiederspiegelt. Betrug das Maximum derselben in Leipzig 26 und 28 μ, so erreichten dieselben in Göttingen bei den gleichen Beben nur noch 9 und 8 μ.

Progressiv wachsende Dauer der Vorphase. Auf der anderen Seite wuchs die Dauer der Vorphase auf dem Wege der Wellen zwischen Leipzig bezw. seiner Homoseiste und Göttingen auf durchschnittlich das Doppelte an, indem sie in Leipzig im Durchschnitte 13,5, in Göttingen aber 27 Sekunden betrug.

Diese Zunahme der Länge der Vorphase mit der Entfernung vom Zentrum des Bebens erklärt sich aus der gebräuchlichen Annahme, daß die Vorphase auf die vom Stoßzentrum auslaufenden Erdwellen zurückzuführen ist, während die dann folgenden Ausschläge der Hauptphase von den im Epizentrum erzeugten und sich von dort verbreitenden, weniger schnellen Oberflächen-

1) l. c. und ebend. Nr. 13, 1903, pag. 137.

Digitized by Google

wellen erzeugt werden. Letztere werden deshalb einen bereits von den Erdwellen betroffenen Ort um so später erreichen, je weiter dieser vom Epizentrum entfernt liegt, d. h. die Dauer der Vorphase eines Seismogrammes wächst mit dem Abstande vom Epizentrum.

Ebenso wie bei Fernbeben, so wiederholt sich dieses Verhältnis und zwar in einleuchtendem Grade auch bei sämtlichen bisher vom Leipziger Seismometer registrierten Nahbeben, wie aus folgender Zusammenstellung ersichtlich wird:

Greizer Beben vom 1. Mai 1902.

Entfernung Leipzigs vom Epizentrum (Greiz) . . . . . **70** km.
Dauer der Vorphase = **9**ˢ.

Vogtländische Beben im März 1903.

Entfernung Leipzigs vom Epizentrum etwa . . . . . **120** km.
Dauer der Vorphase = **13**ˢ.

Böhmerwald-Beben am 26. November 1902.

Entfernung Leipzigs vom Epizentrum (Pfraumberg) . . . **190** km.
Dauer der Vorphase = **26**ˢ.

Vogtländische Beben im März 1903.

Entfernung Göttingens vom vogtländischen Epizentrum . **220** km.
Dauer der Vorphase in Göttingen **27**ˢ.

Ergebnis: je weiter das Epizentrum dieser Beben von deren Beobachtungsorte entfernt liegt, desto größere Länge erhält auch die Vorphase der Seismogramme.

Erdmagnetische Störungen. Die Frage, ob durch das vogtländische Schwarmbeben erdmagnetische Störungen verursacht worden seien, ist der Prüfung unterzogen worden. Da erdmagnetische Warten im Schüttergebiete Sachsens nicht existieren, würden sich etwa eingetretene magnetische Störungen voraussichtlich nur durch die mehr oder minder energische Beeinflussung der die Schütterareale kreuzenden Telegraphenlinien und Kabelleitungen kenntlich gemacht haben. Um dies zu erkunden, wendete ich mich an die Kaiserlichen Oberpostdirektionen zu Leipzig und Chemnitz, denen die Telegraphenanstalten des gesamten westlichen Sachsens unterstehen und deren Bereich zugleich die sächsischen Gebiete intensiverer Erschütterung angehören,

Digitized by Google

mit der Bitte um Auskunft, ob während des Zeitraumes vom 13. Februar bis Mitte Mai Störungen der in ihren Verwaltungsbereich fallenden Telegraphen- und Kabelleitungen stattgefunden haben, die auf erdmagnetische Einflüsse zurückzuführen sein dürften?

In zuvorkommendster Weise ist diesem meinem Ansuchen Folge geleistet worden, jedoch mit dem Resultat, daß während der genannten Zeit nirgends derartige Erscheinungen wahrgenommen wurden. Nur berichtet die Kaiserliche Oberpostdirektion zu Chemnitz, daß vom Haupt-Telegraphenamte zu Berlin am 5. März 17^h bis $17^h\,30^m$ in einer der Kabelleitungen Berlin-München, und am 6. März in derselben Kabelleitung bei dem telegraphischen Verkehr Berlin-Reichenbach i. Vogtl. $10^h\,10^m$ und 13^h, — ferner vom Telegraphenamte zu München in einer anderen Kabelleitung nach Berlin am 5. März $16^h\,30^m$ mangelhafte Telegraphenverständigung und 19^h ein fremder Dauerstrom festgestellt worden sei. Diese beiden Tage fallen zwar mit denen zusammen, an denen sich die 3 stärksten Stöße des Erdbebenschwarmes vollzogen, stehen aber in keinem engeren zeitlichen Konnexe mit diesen, die sich am 5. März $21^h\,37^m$ und $21^h\,55^m$ und am 6. März $5^h\,57^m$ ereigneten. Eine genetische Abhängigkeit jener Telegraphenstörungen von diesen Erdstößen gibt sich demnach nicht zu erkennen.

Auch mein Anliegen an das Königliche Bergamt zu Freiberg, Erhebungen anzustellen, ob im markscheiderischen Betriebe innerhalb Sachsens während der diesjährigen Erdbebenperiode Störungen des Kompasses aufgefallen seien, die auf erdmagnetische Einflüsse zurückgeführt werden könnten, fand eine in hohem Grade entgegenkommende und dankenswerte Berücksichtigung. Die bezüglichen Ergebnisse der von sämtlichen Markscheidern Sachsens eingezogenen Berichte waren jedoch auch hier negativer Art.

Nach allen diesen Erhebungen der Kaiserlichen Oberpostdirektionen zu Leipzig und Chemnitz, sowie des Königlichen Bergamtes zu Freiberg hat sich demnach eine Beeinflussung des telegraphischen Betriebes und des markscheiderischen Kompasses durch magnetische Störungen, welche mit Erdbewegungen des diesjährigen Schwarmbebens in genetischer Beziehung stehen könnten, nicht bemerklich gemacht.

Digitized by Google

Übersichtliche Zusammenfassung.

Charakteristik des Erdbebenschwarmes. Der vom Vogtlande ausgehende, dieses und zum Teil weite Nachbargebiete in Mitleidenschaft ziehende, nach seinem Herde als „vogtländischer" bezeichnete Erdbebenschwarm der ersten Hälfte des Jahres 1903 hub am 13. Februar mit wenigen schwachen Lokalstößen an, erreichte das Maximum seiner Kraftentfaltung während des ersten Drittels des März, setzte sich in Form einzelner ziemlich starker, zahlreicher schwächerer und noch mehr schwacher Stöße durch den März und April fort, um dann, nachdem seine Energie im Anfang Mai noch einmal aufgeflackert war, in der Mitte dieses Monates auszutönen und vom 18. Mai an vollkommener seismischer Ruhe Platz zu machen.

Dieser 95tägige Erdbebenschwarm setzte sich makroseismisch zusammen aus **44** kräftigen und sehr kräftigen Stößen vom Stärkegrad 4 bis 7, — aus **645** zeitlich und örtlich fixierten Lokalstößen und aus noch weit mehr, nicht gezählten, schwächsten Erzitterungen oder auch nur unterirdischen rollenden Geräuschen.

Sein Epizentralgebiet. Das Ausgangs-, also Epizentralgebiet dieses Erdbebenschwarmes erstreckt sich innerhalb des oberen Vogtlandes in Form einer ziemlich schlank elliptischen Zone aus der Gegend von Asch-Brambach-Schönberg in nordöstlicher, also erzgebirgischer Richtung, und in etwa 30 km Länge nach Graslitz-Eibenberg-Untersachsenberg (vergl. Tafel I, 1). Innerhalb dieses Gebietes verschieben sich zwar die Stoßpunkte gegen einander, doch machen sich hierbei 3 engere epizentrale Bezirke (Rayons) kenntlich: derjenige von Graslitz-Untersachsenberg, — der von Asch-Brambach und der von Markneukirchen. Die Herde in der Tiefe dieser 3 Epizentralbezirke gelangen entweder einzeln jeder für sich, oder bei zunehmender seismischer Energie zu zweien oder dreien vereint zur Tätigkeit[1]), ohne daß es jedoch in jedem Falle und zwar namentlich bei den

1) Vergleiche hierzu: Berichte d. math.-phys. Klasse d. Kgl. S. Ges. d. Wiss. Leipzig, 14. November 1900, Seite 176 und 3. März 1902, Seite 84.

Digitized by Google

heftigsten im Bereiche der Epizentralzone erzeugten Stößen möglich wäre, die jedesmalige Ausgangsstelle innerhalb des allgemeinen Epizentralgebietes genauer zu fixieren oder wahrscheinlich zu machen.

Durch tektonische Störungen kennzeichnet sich diese Epizentralzone oberflächlich nicht. Während in ihrem nordwestlichen vogtländischen Nachbargebiete eine chaotische Zerstückelung und Verwerfung der dortigen paläozoischen Formationen Platz greift, ist ihr eigenes Terrain frei von nachweislichen Dislokationen. Geologisch charakterisiert sich dieselbe nur als derjenige Streifen des Schiefergebirges, der wie eine Brücke den Graslitz-Untersachsenberger Rand des Eibenstocker Granitlakkolithen mit dem südwestlich gegenüberliegenden Ende des Fichtelgebirgischen Granitzuges bei Brambach-Asch verbindet.

Als Gebiet der zeitweilig fast kontinuierlichen Erzeugung von schwachen, stärkeren und stärksten Erdstößen während der fast 14wöchigen Dauer des diesmaligen Erdbebenschwarmes, wie ebenso bereits von ziemlich zahlreichen Einzelbeben und Schwarmbeben früherer Jahre ist dasselbe als „chronisches vogtländisches Epizentralgebiet“ zu bezeichnen.

Eine sich während des ganzen Erdbebenschwarmes nicht selten wiederholende Erscheinung ist es, daß sich an ganz isolierten, vom chronischen Epizentralgebiete mehr oder weniger weit entfernten Orten Erschütterungen bemerklich machen, welche zum Teil auch zeitlich mit seismischen Vorgängen innerhalb des letzteren nicht zusammenfallen, also nicht als „Relaisbeben“ bezeichnet werden können. Faßt man die Tatsache ins Auge, daß sich die seismische Tätigkeit während der Zwischenzeiten zwischen allen Hauptstößen an sehr zahlreichen, ordnungslos und zum Teil weitläufig im Vogtlande selbst sowie in angrenzenden Strichen des Egerlandes und Erzgebirges verstreuten Orten in Hunderten von zusammenhangslosen Stößen äußerte, so erscheint es nicht auffällig, daß einzelne auch außerhalb dieses engeren Schüttergebietes liegende Punkte zeitweilig dieser allgemeinen seismischen Tendenz unterworfen waren. Diese Erscheinung spricht eben nur dafür, daß die Ursächlichkeit des Erdbebenschwarmes weder zeitlich, noch örtlich eine engbegrenzte war, sondern sich auf den größten Teil der Gebirgsmasse erstreckte, in der die Systeme des Erzgebirges, Thüringer Waldes, Fichtelgebirges und Böhmerwaldes

Digitized by Google

zusammenstrahlen. Hier konzentrierte sie sich zwar auf die deshalb als Epizentralgebiet bezeichnete Zone, konnte aber auch zuweilen in deren Umgebung zur Erzeugung kleiner autochthoner Beben führen.

Die Schüttergebiete. Entsprechend der verschiedengradigen Stärke der von der Epizentralzone ausgehenden Stöße, ist die Ausdehnung der Schüttergebiete dieser letzteren eine sehr verschieden große. Abgesehen von denen der Lokalstöße ordnen sich dieselben je nach ihrer Gestalt und Erstreckung in ansteigender Linie zu 3 Hauptgruppen:

1. Vogtländische Schüttergebiete (Tafel I; Linie 2 u. 3).

Dieselben resultieren bei denjenigen Beben, welche von der Epizentralzone oder deren Spezialbezirken ausgehend, sich innerhalb des Vogtlandes hauptsächlich nach N oder NNO, weniger weit nach S ausdehnen und demzufolge elliptische Schüttergebiete mit ungefähr nordsüdlicher Längsachse erzeugen, die sich durch das Vogtland mehr oder weniger weit nach Norden, im Maximum bis Greiz oder Schneeberg und im Süden bis jenseits Eger erstrecken können, dagegen nur zuweilen mit einem schmalen Saum in das angrenzende Erzgebirge bis Neudeck, Hirschenstand, Eibenstock oder nach Oberfranken bis Hof übergreifen.

In bei weitem den meisten Fällen erreicht jedoch die Ausdehnung der vogtländischen Schüttergebiete die zuletzt angedeuteten Grenzen nicht, bleibt vielmehr ziemlich weit hinter diesen zurück und beschränkt sich auf eine meist schlank elliptische Fläche, deren von ungefähr S nach N gerichtete Längsachse die Orte Schönberg a. Ka., Voitersreuth oder Haslau im Süden mit Schönhaide oder Lengenfeld, seltener mit Schneeberg im Norden verbindet. Da die Mehrzahl (25) der stärkeren Stöße des diesmaligen Erdbebenschwarmes solche engere vogtländische Schüttergebiete in Bewegung gesetzt und sich Gleiches auch in früheren Jahren mehrfach wiederholt hat, so werden diese Schüttergebiete im Gegensatze zu den obigen „weiteren vogtländischen" als „chronische vogtländische" bezeichnet.

Die Ausdehnung dieser zahlreichen chronischen vogtländischen Schüttergebiete bleibt jedoch im Verlaufe des Erdbebenschwarmes nicht immer die gleiche, sondern erleidet innerhalb ihrer beschränkten Grenzen je nach dem speziellen Ausgangspunkte und

Digitized by Google

dem Stärkegrad der sie hervorrufenden Stöße gewisse Schwankungen in ihrer Erstreckung und im gegenseitigen Verhältnis ihrer Längs- und Querachse. Um die Gestalt und Ausdehnung dieser Gruppe von Schüttergebieten im allgemeinen und im Gegensatze zu den übrigen Schütterarealen zu veranschaulichen, ist deren durchschnittlicher Umriß auf Tafel I mit Linie 2, derjenige der „weiteren vogtländischen Schüttergebiete" dagegen mit Linie 3 zur Darstellung gebracht worden.

2. Vogtländisch-erzgebirgische Schüttergebiete (Tafel I, Linie 4).

Von den stärkeren Stößen breiten sich nicht weniger als 14 mehr oder weniger weit über das Vogtland hinweg in das Erzgebirge aus, pflanzen sich also von der Epizentralzone aus nicht wie bei den vogtländischen Schüttergebieten ziemlich gleichmäßig nach allen Seiten oder vorzugsweise nach N, sondern hauptsächlich in erzgebirgischer Richtung, also nach NO fort. Hierbei können ihre Wellen entweder nur den südwestlichen Teil des Erzgebirges bis etwa Krottendorf, Weipert, Oberwiesenthal oder Preßnitz in Erschütterung versetzen oder aber über dessen gesamten Kamm, also über die Talgebiete der Zschopau, Flöha und Freiberger Mulde bis nach der Gegend von Dresden vordringen. In diesem Falle vermögen sie zugleich das erzgebirgische Becken und selbst noch angrenzende Striche des Granulitgebirges, ebenso wie den nordböhmischen Abbruchstreifen mehr oder weniger weit, ja sogar noch anstoßende Teile des Kaiserwaldes und Fichtelgebirges in Mitleidenschaft zu ziehen. Der Schütterkreis der ersteren Gruppe ist als „engeres", derjenige der letzteren als „weiteres vogtländisch-erzgebirgisches Schüttergebiet" bezeichnet worden (siehe Tafel I; Linie 4). Eine scharfe Abgrenzung ist auch hier nicht vorhanden, für alle hierher gehörigen Beben aber ist es charakteristisch, daß ihre in der chronischen Epizentralzone erzeugten Erdbebenwellen nie nach W oder SW über das vogtländische Schüttergebiet hinaus in den Frankenwald und Thüringerwald fortsetzen, sondern einseitig nur der erzgebirgischen Richtung folgen, so daß das von ihnen erschütterte Gebiet die Gestalt einer mehr oder weniger schlanken Ellipse erhält, deren Längsachse nordöstlich streicht und nahe deren südwestlichem Ende das somit stark exzentrische Epizentrum gelegen ist.

Digitized by Google

3. Vogtländisch-erzgebirgisch-bayerische Schüttergebiete (Tafel I, Linie 5).

Nur die drei Hauptstöße, welche eine Schütterstärke von 6—7 Grad erreichten, nämlich diejenigen vom 5. März $21^h\,37^m$ und $21^h\,55^m$, sowie vom 6. März $5^h\,57^m$ breiteten ihre Wellen bis zu weiter Entfernung über die Grenzen der übrigen skizzierten Schüttergebiete aus.

Ziemlich genau festzustellen ist die Linie, welche das große Schüttergebiet der beiden Stöße am Abend des 5. März nach NO, N, W und S begrenzt (Tafel I; 5). Das von ihr umzogene Areal umfaßt das Vogtland, das ganze Erzgebirge und die Sächsische Schweiz bis zur Elbe, das ciselbische Sachsen bis Leipzig, Thüringen bis Erfurt, Zella und Hildburghausen, den Frankenwald und Oberfranken bis jenseits Staffelstein und bis Bamberg, ferner die Oberpfalz und den Böhmerwald bis zur Donau bei Regensburg und Straubing. Dahingegen ist der Verlauf der Grenzlinie von hier durch das westliche Böhmen bis in die Gegend von Tetschen nicht mit vollkommener Sicherheit festzustellen, jedenfalls waren aus dem Landstriche Mies, Rakonitz, Pilsen und Prag keine positiven Nachrichten über dort stattgehabte Erschütterungen zu erlangen. Auch die Auskunft, daß selbst die in Přibram aufgestellten Seismometer nur minimale Aufzeichnungen von mikroseismischen Bodenbewegungen geliefert haben, die von jenen Hauptstößen herrühren, macht es ziemlich sicher, daß sich die Wellen der Stöße vom Abend des 5. März tatsächlich makroseismisch nicht mehr in dem oben genannten Gelände fühlbar gemacht haben. Das Schüttergebiet derselben beschränkt sich demnach in Böhmen auf dessen westlichsten Streifen und jene dem vogtländischen Epizentrum näher liegende Zone zwischen dem nördlichen Böhmerwald und Leitmeritz-Tetschen, aus welcher genügende Nachrichten über den Vollzug beider Erschütterungen zu Gebote stehen.

Nur wenig anders liegen die Grenzverhältnisse mit Bezug auf den großen Schütterkreis des Hauptstoßes vom 6. März $5^h\,57^m$, dessen äußerste westliche und nordwestliche Ausdehnung zwar nicht so genau feststeht, wie die der beiden Beben vom Abend vorher, auch nicht ganz soweit gereicht haben dürfte, wie diese, wo aber durch REINDL die Erstreckung des Schütterareales bis

Passau festgestellt ist und in Böhmen bis Pilsen und Prag gereicht haben soll.

Was die äußerste NO-Grenze dieser 3 ausgedehntesten Schüttergebiete des diesmaligen vogtländischen Erdbebenschwarmes betrifft, so ist diese eine außergewöhnlich scharfe. Dies beruht darauf, daß hier die von SW nach NO laufenden seismischen Wellen an der sich quer vorlegenden „Großen Lausitzer Dislokation" abstießen, die sie nicht zu überschreiten vermochten, sondern an der sie sogar zurückgeworfen wurden und sich dadurch in den diesseits anliegenden Ortschaften in höherem Grade bemerklich machten, als in den weiter zurückliegenden.

Allgemeiner Verlauf des Erdbebenschwarmes.

Beginn.

In den Abendstunden des 13. Februar machen sich in der chronischen vogtländischen Epizentralzone als erste Zeichen der nach fast 18 Monate langer Ruhe wieder auflebenden seismischen Tätigkeit einige wenige schwache Lokalstöße im Graslitzer Rayon bemerklich, denen in den nächsten Tagen solche im Brambacher Rayon folgen.

Steigerung.

In der Periode vom 14. Februar bis 4. März wächst die Zahl der Lokalstöße im vogtländischen Schüttergebiet bis zu täglich 30, ja 40. Einzelne von ihnen besitzen etwas größere Stärke, von solchen werden zuweilen mehrere Orte gleichzeitig betroffen und kleinere zusammenhängende Schüttergebiete erzeugt. Außerdem steigert sich die seismische Energie am 21., 24., 25., 26. und 27. Februar und am 3. März zu je einem, am 23. Februar zu 3 Hauptstößen, die sich aber alle nur über das vogtländische Schüttergebiet ausbreiten, zum Teil von schwachen Simultanerschütterungen außerhalb des letzteren begleitet sind und in der Leipziger Warte Seismogramme vom Typus 1 und 2 liefern, von denen nur dasjenige des Hauptstoßes vom 21. Februar auf der Grenze zu Typus 3 steht.

Am 4. März werden die Lokalstöße zwar weniger zahlreich, aber kräftiger und ereignen sich auch außerhalb der Grenzen des

Digitized by Google

vogtländischen Schüttergebietes an isolierten Punkten des Granulitgebirges, Erzgebirges, Fichtelgebirges und Böhmerwaldes, die aber alle dem Schüttergebiete der nächsttägigen heftigsten Hauptstöße angehören und die im pleistoseismischen Areale der letzteren herrschende seismische Spannung auszulösen beginnen.

Maximum.

In dem Zeitraume vom 6. bis zum 9. März gelangt die seismische Tätigkeit zur größten Kraftentfaltung in Gestalt von 30 Hauptstößen, von denen die 7 kräftigsten den Stärkegrad 6—7 erreichen, die weitesten Gebiete erschüttern (siehe S. 519 sub 2 und S. 520 sub 3), in Leipzig Seismogramme vom Typus 3 liefern und sich am 5. März $1^h\,50^m$, $21^h\,37^m$ und $21^h\,55^m$, am 6. März $5^h\,57^m$ und $20^h\,11^m$, am 7. März $6^h\,1^m$, am 8. März $7^h\,22^m$ ereignen. Von den übrigen 23 Hauptstößen von etwas geringerem Stärkegrad fallen neben 3 der energischsten Beben 10 auf den 5. März, welcher Tag sich hierdurch als derjenige der intensivsten seismischen Leistung während des ganzen Erdbebenschwarmes kundgibt.

Außer diesen Hauptstößen vollziehen sich in der Zeit vom 5. bis 9. März mehr als 160 schwache, nur zum Teil etwas stärkere Lokalstöße und noch viel zahlreichere nicht gezählte schwächste Erbebungen.

Abnahme.

In den Wochen vom 10. März bis zum 15. April macht sich eine stete Abnahme der seismischen Tätigkeit im gesamten vogtländischen Schüttergebiete geltend. Die Zahl der Lokalstöße vermindert sich auf täglich ganz wenige, die in ihrer Mehrzahl nur geringe, seltener eine etwas größere Stärke besitzen. Nur am 21. und 22. März vollziehen sich noch 3 kräftige Stöße, deren Ausdehnung sich jedoch auf das chronische vogtländische Schüttergebiet beschränkt, von denen aber in Leipzig die beiden Stöße des 22. März als Seismogramme vom Typus 1 registriert werden. Viele Tage haben nur noch 1, 2 oder 3 Lokalstöße aufzuweisen, ja an einzelnen Tagen ruht die Schüttertätigkeit ganz, so am 17. und 26. März, sowie am 6., 7. und 9. April.

Digitized by Google

Allgemeine Ruhepause.

Vom 15. bis 20. April herrscht im ganzen Schüttergebiete Ruhe.

Nochmalige Belebung.

Am 21. April aber belebt sich dasselbe und zwar vorzüglich dessen Brambacher Rayon von neuem. Mit Überspringung nur des 22. und 30. April ereignen sich täglich bis zum 2. Mai mehrere, wenn auch meist schwache, nur zum Teil etwas kräftigere Stöße, von denen einer am 27. April sogar den Stärkegrad 5 besitzt, den ganzen westlichen Streifen des vogtländischen Schüttergebietes in Bewegung setzt und in Leipzig ein Seismogramm vom Typus 2 liefert, bis endlich am Abend des 2. Mai noch ein Hauptstoß erfolgt, dessen makroseismische Wellen zwar das chronische vogtländische Schüttergebiet kaum überschreiten, aber vom Leipziger Seismometer durch Seismogramme der untersten Stufe des Typus 3 registriert werden.

Erlöschen.

Mit diesem Hauptstoße und einigen wenigen, ihm am 2. und 3. Mai folgenden schwachen Lokalstößen scheint die seismische Tätigkeit im Vogtlande erschöpft zu sein. Da, nach 2tägiger Pause flackert sie jedoch am 6. und 7. Mai, und zwar gleichfalls im Brambacher Rayon, wieder auf, erzeugt einige meist schwache Stöße, macht dann wieder einer 8tägigen Ruhe Platz, äußert sich am 15. und 18. Mai noch einmal in je einem schwachen Stoße in Untersachsenberg, in dessen Nähe sie Mitte Februar mit ähnlichen schwachen Zeichen erwachte und gelangt erst dann zu vollkommenem Erlöschen.

Die Seismogramme und deren gesetzmäßige Ausbildungsform. Sämtliche stärkeren Stöße des vogtländischen Erdbebenschwarmes sind, sobald sie den Stärkegrad 4 oder 5 erreichten oder überstiegen, von dem in Leipzig aufgestellten Wiechertschen Seismometer registriert worden.

Die auf diese Weise erzielten Seismogramme besitzen außerordentlich verschiedene, in ihrer Länge, ihrer Gliederung und in dem Maße der Amplituden und Perioden ihrer Ausschläge sehr variierende Form, lassen sich aber, selbst wenn sie durch Pulsationen und Eigenschwingungen des Pendels starke Verzerrungen

Digitized by Google

erlitten haben sollten, fast stets auf die 3 Typen zurückführen, welche S. 426 und 427 beschrieben und durch schematische Figuren erläutert worden sind, nämlich 1. solche von kompliziertester Ausbildungsweise, bestehend aus Vorphase, Hauptphase in 2 Abschnitten und Endphase (Typus 3); 2. solche, in denen die Vorphase in Wegfall gekommen ist (Typus 2) und 3. solche, bei denen sowohl die Vorphase, wie der zweite Abschnitt der Hauptphase fehlt.

Bei vergleichender Zurückführung dieser seismogrammatischen Aufzeichnungen auf ihre Urheber, die vogtländischen Erdstöße, ergibt es sich, daß die Ausbildungsweise der Seismogramme, also deren Zugehörigkeit zu einem der drei obigen Typen in gesetzmäßiger Abhängigkeit steht von der Stärke des sich im Vogtlande vollziehenden, das Seismogramm erzeugenden Stoßes und damit zugleich von der Ausdehnung seines Schüttergebietes.

So gehören die Seismogramme der 3 stärksten Hauptstöße von 6—7 Grad Schütterstärke am 5. und 6. März, ebenso wie sämtliche Stöße mit „weiterem vogtländischen" und mit „weiterem vogtländisch-erzgebirgisch-egerländischen Schüttergebiet" (s. S. 518 u. 519) dem kompliziertesten Typus 3 an. Zugleich aber kennzeichnen sie die Stärke der sie produziert habenden Stöße und die Größe deren Schüttergebietes durch die Werte der Amplituden im ersten Abschnitte ihrer Hauptphase. So weisen die Seismogramme der Stöße mit „weiteren vogtländischen Schütterkreisen" Amplituden von 10 μ, diejenigen der Stöße mit ausgedehnten vogtländisch-erzgebirgischen Schüttergebieten solche von im Maximum 16, — 18 und 21 μ, diejenigen des stärksten dieser Stöße sogar von 24 μ auf, während dieselben bei den 3 gewaltigen Hauptstößen am 5. und 6. März 26, — 27 und 28 μ erreichen. Im Gegensatze hierzu haben die schwächeren Stöße mit engeren (chronischen) vogtländischen Schüttergebieten durchweg Seismogramme vom Typus 1 oder 2, diejenigen mit engeren vogtländisch-erzgebirgischen Schütterarealen solche vom Typus 2 oder 2—3 geliefert.

Von dieser Gesetzmäßigkeit machen nur einige wenige der 44 in Leipzig registrierten Seismogramme eine Ausnahme. So zeichnete sich hier der starke Stoß vom 6. März $2^h\,13^m$, dessen makroseismische Wellen über das Vogtland und Erzgebirge bis zum Tale der Flöha und über den nordböhmischen Landstrich am Fuße des Erzgebirges bis Komotau sich ausdehnten, nur in Form

Digitized by Google

eines Seismogrammes vom Typus 1 auf, statt, wie zu erwarten, als ein solches vom Typus 3. Die Ursache einer derartigen Abschwächung der seismogrammatischen Registrierung dieses Bebens war nicht aufzuklären. Auf der anderen Seite hat der Stoß vom 2. Mai $21^h\,8^m$, der nur das chronische, also engere vogtländische Schüttergebiet, freilich sehr kräftig, in Bewegung gesetzt zu haben scheint, statt eines Seismogrammes vom Typus 2, wie es vorauszusehen war, ein solches vom Typus 3 geliefert, das freilich dessen unterster Stufe angehört, also dessen Grenze zu Typus 2 sehr nahe steht.

Jedenfalls aber bleibt das Gesetz das herrschende, daß die Kompliziertheit der Seismogramme zugleich mit den Amplituden ihrer Hauptphase in gleichem Schritte wächst mit der Schütterstärke und der Ausdehnung der Schüttergebiete der sie erzeugt habenden vogtländischen Stöße.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Was die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen betrifft, so berechnet sich dieselbe innerhalb der peripheren, nur noch mikroseismischen Zone der Schüttergebiete für die vom Zentrum der Stöße ausgehenden Erdwellen zu 5900 m, und für die vom Epizentrum aus sich verbreitenden Oberflächenwellen zu 3300 m in der Sekunde.

Infolge dieser langsameren Fortpflanzung der letzteren wächst der Unterschied der Eintrittszeit zwischen erstem Einsatz der Vorphase und dem der Hauptphase mit der Entfernung des Beobachtungsortes vom vogtländischen Herde von 13 Sekunden in Leipzig bis zu 27 Sekunden in Göttingen, während sich gleichzeitig das Maß der Amplituden der Hauptphase ein und desselben Bebens von im Maximum 28 μ in Leipzig auf 9 μ in Göttingen verkleinert.

Digitized by Google

10

Nr

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

Digitized by Google

Erklärung der Karte auf Tafel I.

Die Abgrenzung der 3 inneren Schüttergebiete 2, 3 und 4 (S. 518) ist insofern eine bis zu einem gewissen Grade schematische, als kaum eines dieser Bilder das exakte Schütterareal eines einzelnen Stoßes wiedergibt. Vielmehr veranschaulichen die in die Karte eingetragenen Linien den allgemeinen Verlauf der Grenzen jedesmal einer ganzen Anzahl von sich einander in Gestalt und Ausdehnung nahe kommenden Schüttergebieten, stellen also nur die Grundzüge von 3 Gruppen der letzteren vor. Dahingegen ist die Umfassungslinie des äußersten, größten Schüttergebietes und zwar des Bebens vom 5. März $21^h\,37^m$ als Linie 5 möglichst naturgetreu gezogen worden.

1 = chronische vogtländische Epizentralzone (vergl. S. 516) mit den 3 Herdrayons Asch-Brambach, Graslitz-Untersachsenberg und Markneukirchen.

2 = chronisches vogtländisches Schüttergebiet (vergl. S. 518), innerhalb dessen Grenzen sich die folgenden, von einem der Epizentralrayons ausgehenden Beben mehr oder weniger weit fortpflanzen:

Februar	23.	$4^h\,32^m$,
	23.	$6^h\,14^m$,
	24.	$9^h\,37^m$,
	25.	$1^h\,22^m$,
	26.	$0^h\,12^m$,
	27.	$5^h\,32^m$,
März	3.	$15^h\,54^m$,
	5.	$11^h\,40^m$,
	5.	$12^h\,05^m$,
	5.	$15^h\,52^m$,
	5.	$16^h\,49^m$,
	5.	$17^h\,51^m$,
	7.	$6^h\,16^m$,
	7.	$10^h\,57^m$,
	8.	$1^h\,01^m$,
	8.	$12^h\,30^m$,
	9.	$5^h\,30^m$,
	9.	$15^h\,14^m$,
	22.	$11^h\,55^m$,
	22.	$19^h\,49^m$,
April	27.	$17^h\,08^m$,
Mai	2.	$21^h\,08^m$.

3 = weiteres vogtländisches Schüttergebiet (vergl. S. 518)

Februar	21.	$22^h\,09^m$.

Digitized by Google

4 = vogtländisch-erzgebirgisches Schüttergebiet (vergl. S. 519)

a) engeres, im Erzgebirge nur bis Krottendorf-Obermittweida-Oberwiesenthal, oder bis Annaberg-Jöhstadt-Preßnitz reichend:

Februar	23.	$6^h\ 32^m$,
März	3.	$2^h\ 14^m$,
	5.	$23^h\ 00^m$ und
	5.	$23^h\ 01^m$,
	6.	$1^h\ 04^m$,
	6.	$6^h\ 10^m$,
	6.	$14^h\ 00^m$,
	7.	$7^h\ 55^m$,

b) weiteres, im Erzgebirge bis in die Freiberger Gegend, oder selbst bis Dresden, nach Norden über das Erzgebirgische Becken bis in das Granulitgebirge, im Süden bis über Eger hinaus und von hier aus über den nordböhmischen Streifen Petschau-Karlsbad-Kaaden-Komotau-Görkau reichend:

März	5.	$1^h\ 50^m$,
	6.	$6^h\ 13^m$,
	6.	$20^h\ 11^m$,
	7.	$6^h\ 01^m$,
	8.	$7^h\ 22^m$.

5 = vogtländisch-erzgebirgisch-bayerisches Schüttergebiet (vergl. S. 520).

Dieses das Vogtland, Thüringen, Oberfranken, die Oberpfalz, den Böhmerwald, den Westen Böhmens und das ciselbische Sachsen umfassende Gebiet wird erschüttert von den 3 Stößen

März	5.	$21^h\ 37^m$,
	5.	$21^h\ 55^m$,
	6.	$5^h\ 57^m$.

Als in seinem Umfange genauest festgestelltes Schüttergebiet dieser 3 stärksten Stöße des Erdbebenschwarmes ist dasjenige vom 5. März $21^h\ 37^m$ zur Darstellung gebracht worden. Der genaue Verlauf seiner südöstlichen sich von Straubing an der Donau bis jenseits der Elbe nahe Bensen bei Tetschen erstreckenden Grenzlinie ist nicht mit vollständiger Sicherheit festzulegen, doch kommt ihre Konstruktion voraussichtlich der Wirklichkeit nahe, wenn sie auch den sonst ziemlich regelmäßigen Schütterkreis innerhalb Böhmens in auffälliger Weise abstumpft (vergl. S. 467 u. 520).

In seinem äußersten Nordosten findet dieses Schüttergebiet an der Großen Lausitzer Dislokation seine Endschaft.

Digitized by Google

DER

GANG DES MENSCHEN.

VI. TEIL:

ÜBER DEN EINFLUSZ DER SCHWERE UND DER MUSKELN AUF DIE SCHWINGUNGSBEWEGUNG DES BEINS.

VON

OTTO FISCHER,

AUSSERORDENTLICHEM MITGLIEDE DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Des XXVIII. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

N° VII.

MIT 3 DOPPELTAFELN UND 7 TEXTFIGUREN.

LEIPZIG

BEI B. G. TEUBNER.

1904.

Digitized by Google

Vorgetragen für die Abhandlungen am 11. Januar 1904.
Das Manuskript eingeliefert am 18. Januar 1904.
Der letzte Bogen druckfertig erklärt am 9. März 1904.

DER

GANG DES MENSCHEN.

VI. TEIL:

ÜBER DEN EINFLUSZ DER SCHWERE UND DER MUSKELN AUF DIE SCHWINGUNGSBEWEGUNG DES BEINS.

VON

OTTO FISCHER,

AUSSERORDENTLICHEM MITGLIEDE DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	533
I. Die Komponenten der Effektivkräfte	538
II. Über den Einfluß der Bewegung auf den Gelenkdruck	561
III Die von der Schwere ausgeübten Drehungsmomente	565
IV. Die von den Effektivkräften ausgeübten Drehungsmomente	589
V. Die von den inneren Kräften ausgeübten Drehungsmomente	596
VI. Über die Tätigkeit der Muskeln bei der Schwingung des Beins	602
Rückblick	615

Digitized by Google

Einleitung.

Im letzten Teile der Untersuchung über den Gang des Menschen sind die für eine kinetische Analyse der Schwingungsbewegung des Beins erforderlichen kinematischen Grundlagen ausführlich abgeleitet worden. Es finden sich daselbst unter der Voraussetzung ebener Bewegung für alle um je 0,01 sec zeitlich von einander abstehenden Bewegungsphasen die Werte der Winkelbeschleunigungen niedergelegt, mit denen der Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß beim Schwingen ihre Richtung im Raume ändern. Es sind weiterhin für die gleichen Phasen die horizontalen und vertikalen Komponenten der Beschleunigungen bestimmt worden, welche die Schwerpunkte der drei Abschnitte des Beins infolge ihres Gelenkzusammenhanges während der Periode des Schwingens durch die einwirkenden Kräfte erfahren. Und es ist auch schon in ausführlicher Weise auseinandergesetzt worden, welche Beziehungen zwischen allen diesen Größen bestehen, falls nicht nur die Schwere, sondern auch innere Kräfte, wie z. B. Muskelkräfte einen Einfluß auf die Bewegung des Beins ausüben.

Damit sind nun alle Vorbedingungen erfüllt, um an die Behandlung des Problems, die beim Schwingen tatsächlich wirksamen Kräfte zu bestimmen, herantreten zu können.

Wie früher abgeleitet worden ist, lautet die der Drehung entsprechende Bewegungsgleichung eines jeden der drei Abschnitte des rechten oder linken Beins für die Periode des Schwingens

$$m\varkappa^2 \cdot \varphi'' = D_m + D_s + D_e,$$

unter m die Masse, $\varkappa$ den zur queren Schwerpunktsachse gehörenden Trägheitsradius und φ'' die Winkelbeschleunigung des betreffenden Abschnitts, und ferner unter D_m, D_s, D_e die von Muskeln, Schwere und Effektivkräften auf denselben ausgeübten resultierenden Drehungsmomente verstanden.

Digitized by Google

Die Massen und Trägheitsradien der einzelnen Teile des menschlichen Körpers sind schon früher, die Winkelbeschleunigungen φ'' in der letzten Arbeit bestimmt worden. Demnach kann zunächst der Wert des Produktes $m\varkappa^2 \cdot \varphi''$ für jede der ca. 41 Bewegungsphasen, welche in der vorigen Arbeit zur Messung herausgegriffen worden sind, leicht berechnet werden.

Durch die Kenntnis der Massen ist man aber auch in den Stand gesetzt, die Drehungsmomente D_s der Schwere für die sukzessiven Stellungen der drei Abschnitte des Beins zu berechnen. Nach den Auseinandersetzungen im V. Teil[1]) wirkt die Schwere auf jeden der drei Abschnitte des Beins mit je einem Kräftepaar drehend ein, dessen Kräfte beim Oberschenkel dem Gewicht des ganzen Beins, beim Unterschenkel dem Gewicht des Unterschenkels mit dem Fuß, und endlich beim Fuß dem Gewicht des Fußes allein gleich sind. Die eine Kraft des Paares greift in jedem Falle im Mittelpunkte des proximalen Gelenks des betreffenden Körperteils an und zieht vertikal nach oben. Die zweite, nach unten gerichtete, aber gleich große vertikale Kraft des Kräftepaares besitzt dagegen als Angriffspunkt einen festen Punkt der Längsachse des Körperteils. Die Lage desselben wird gefunden, indem man sich im Mittelpunkte des distalen Gelenks die Massen derjenigen Körperteile vereinigt denkt, welche in distaler Richtung an dem Gelenk hängen, und nun den gemeinsamen Schwerpunkt für diesen fingierten Massenpunkt und den Schwerpunkt des unbelasteten Körperteils aufsucht. Da am Fuß kein Glied mehr in distaler Richtung hängt, so fällt insbesondere bei ihm der Angriffspunkt der zweiten Kraft des von der Schwere ausgelösten Kräftepaares mit dem Fußschwerpunkte selbst zusammen. Für den Unterschenkel hat man sich dagegen im Mittelpunkte des oberen Sprunggelenks die Masse des Fußes konzentriert zu denken; der Angriffspunkt der zweiten Kraft des Kräftepaares teilt daher die zwischen dem Schwerpunkte des Unterschenkels und dem Mittelpunkte des oberen Sprunggelenks liegende Strecke der Längsachse des Unterschenkels im umgekehrten Verhältnis der Massen des Unterschenkels einerseits und des Fußes andererseits. Um endlich den Angriffspunkt der zweiten Kraft des von der Schwere auf den Oberschenkel ausgeübten Kräfte-

1) Man vergleiche für das Folgende insbesondere auch die Figuren 3, 5, 7 des V. Teils oder die später folgenden Figuren 2, 3 und 4 auf den Seiten 568, 57^1 und 57^2 des vorliegenden Teils.

Digitized by Google

paares zu erhalten, hat man sich im Mittelpunkte des Kniegelenks die Massen des Unterschenkels und Fußes angebracht zu denken; der betreffende Angriffspunkt teilt daher die zwischen dem Schwerpunkte des Oberschenkels und dem Mittelpunkte des Kniegelenks liegende Strecke der Längsachse des Oberschenkels im umgekehrten Verhältnis der Masse des Oberschenkels einerseits und der Gesamtmasse des Unterschenkels und Fußes andererseits. Man sieht also zunächst, daß sich der Angriffspunkt der zweiten Kraft eines jeden der drei Kräftepaare allein aus der Kenntnis der Massen der drei Abschnitte des Beins ableiten läßt.

Unter den Drehungsmomenten D_s der Schwere sind nun die Momente dieser Kräftepaare zu verstehen. Da das Moment eines Kräftepaares durch das Produkt aus der Intensität der beiden Kräfte und dem Arm des Paares, d. h. dem kürzesten Abstand ihrer Richtungen gemessen wird, so hat man nur noch die horizontale Entfernung der beiden vertikalen Kraftrichtungen für jeden Abschnitt des Beines und für jede zur Messung herausgegriffene Bewegungsphase festzustellen. Dies läßt sich leicht erreichen, wenn man die Winkel kennt, welche die Längsachsen der drei Körperteile mit der Vertikalen bilden. Diese Winkel sind aber schon gemessen und in den Tabellen 6 bis 11 des V. Teils niedergelegt worden. Allerdings finden sich daselbst die Winkel zunächst nur im Bogenmaß aufgezeichnet. Es bedarf infolgedessen noch einer kleinen Rechnung, um sie in Graden zu erhalten. Immerhin sieht man, daß die früher angegebenen Werte der Massen und Richtungswinkel in der Tat die genügenden Unterlagen zur Berechnung der Drehungsmomente D_s der Schwere für den ganzen Ablauf der Schwingungsbewegung des Beins bilden.

Das auf einen Körperteil einwirkende Drehungsmoment D_e der Effektivkräfte stellt sich nach dem Früheren im allgemeinen als das resultierende Moment zweier Kräftepaare dar. Die Kräfte des einen Paares stimmen in ihrer Intensität mit der Effektivkraft des betreffenden Körperteils selbst überein, während die Kräfte des anderen Paares an Größe gleich sind der Gesamteffektivkraft derjenigen Körperteile, welche in distaler Richtung noch an dem in Frage stehenden Körperteile hängen. Demnach werden also die Kräfte des zweiten am Oberschenkel angreifenden Kräftepaares durch die Gesamteffektivkraft des Unterschenkels und Fußes bestimmt, während für das zweite am Unterschenkel

Digitized by Google

angreifende Kräftepaar nur die Effektivkraft des Fußes maßgebend ist; am Fuß selbst kommt dagegen dieses zweite Kräftepaar überhaupt in Wegfall, weil derselbe das Endglied der unteren Extremität darstellt.

Bei allen Kräftepaaren greift wiederum die eine Kraft im Mittelpunkte des proximalen Gelenks des betreffenden Körperteils an; ihre Richtung stimmt aber hier mit der Richtung der zugehörigen Effektivkraft überein, während bei den durch die Schwere verursachten Kräftepaaren die im Mittelpunkte des proximalen Gelenks angreifende Kraft eine der Schwere entgegengesetzte Richtung besaß. Die zweite Kraft der von den Effektivkräften herrührenden Kräftepaare greift nun entweder im Schwerpunkte oder im Mittelpunkte des distalen Gelenks an dem in Frage stehenden Körperteil an. Der Schwerpunkt ist der Angriffspunkt für die Effektivkraft dieses Körperteils selbst, der Mittelpunkt des distalen Gelenks dagegen für die gesamte Effektivkraft der an dem Körper in distaler Richtung hängenden Abschnitte des Beins. Die zweite Kraft eines jeden Paares hat dabei natürlich die entgegengesetzte Richtung, wie die zugrunde liegende Effektivkraft.

Da die Angriffspunkte der beiden Kräfte für alle von den Effektivkräften stammenden Kräftepaare bekannt sind, so lassen sich die Momente der letzteren ableiten, nachdem man die einzelnen Effektivkräfte in ihrer Größe und Richtung bestimmt hat. Diese Bestimmung läßt sich aber mit Hilfe der im V. Teile in den Tabellen 15 bis 32 angegebenen Beschleunigungen der Schwerpunkte der drei Abschnitte des Beins leicht durchführen. Denn die Effektivkraft eines Körperteils ist ja der Beschleunigung seines Schwerpunktes proportional; sie wird durch das Produkt dieser Beschleunigung mit der Masse des Körperteils gemessen und hat dieselbe Richtung wie die Schwerpunktsbeschleunigung. So gelangt man zunächst ohne Mühe zu den Effektivkräften der drei Abschnitte des Beins. Aus diesen kann man dann weiterhin die gesamte Effektivkraft für zwei von den drei Abschnitten oder auch für das ganze Bein ableiten; denn die gesamte Effektivkraft mehrerer Körperteile bildet die Resultante der Effektivkräfte der einzelnen Körperteile.

Da im V. Teile die Schwerpunktsbeschleunigungen unter der Voraussetzung ebener Bewegung durch ihre beiden in die Gangrichtung und die vertikale Richtung fallenden Komponenten dar-

Digitized by Google

gestellt worden sind, so empfiehlt es sich, auch die Effektivkräfte in zwei zu einander rechtwinklige Komponenten von diesen Richtungen zu zerlegen. Dementsprechend zerfällt dann auch jedes Kräftepaar in je zwei. Die Kräfte des einen sind horizontal, die des anderen vertikal gerichtet; dementsprechend steht der Arm des ersteren Paares vertikal, der des letzteren dagegen horizontal, sodaß beide mit Hilfe des Richtungswinkels für die Längsachse des betreffenden Körperteils aus dem Abstand des Schwerpunktes, bezüglich des distalen Gelenkmittelpunktes, von dem proximalen Gelenkmittelpunkte leicht berechnet werden können.

Man sieht also, daß die Angaben des V. Teils auch vollkommen zur Berechnung des resultierenden Drehungsmomentes D_e der Effektivkräfte ausreichen. —

Es sollen nun in der vorliegenden Arbeit zunächst die beiden Komponenten der sämtlichen Effektivkräfte, welche für die untere Extremität in Betracht kommen, für den ganzen Ablauf der Schwingungsbewegung berechnet werden. Im Anschluß hieran wird sich dann Gelegenheit bieten, auf den Druck im Hüft-, Knie- und oberen Sprunggelenk einzugehen, soweit derselbe durch die Bewegung der einzelnen Abschnitte des Beins hervorgerufen wird. In den weiteren Abschnitten soll die Berechnung der von der Schwere und den Effektivkräften hervorgerufenen Drehungsmomente D_s und D_e vorgenommen werden. Die letzten Abschnitte werden endlich der Ableitung der durch die inneren Kräfte, insbesondere die Muskeln, verursachten Drehungsmomente D_m und den hieraus zu ziehenden Folgerungen über die Beteiligung der Muskeln an der Hervorbringung der Schwingungsbewegung gewidmet sein.

Digitized by Google

I. Die Komponenten der Effektivkräfte.

Um zunächst die zu den drei Abschnitten eines jeden Beins gehörenden Komponenten der Effektivkräfte zu gewinnen, hat man die in den Tabellen 15 bis 32 auf den Seiten 393 bis 410 des V. Teils niedergelegten Komponenten der Beschleunigungen des Oberschenkel-, Unterschenkel- und Fußschwerpunktes mit den Massen der zugehörigen Körperteile zu multiplizieren. Die für unser Versuchsindividuum geltenden Maßzahlen für die Massen des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes betragen nach den Angaben auf Seite 541 des IV. Teils bezüglich 6,93; 3,15 und 1,07. Diese Zahlen gelten, wenn man das sogenannte terrestrische Maßsystem zugrunde legt und dabei als Einheit der Kraft 1 Gramm, als Längeneinheit 1 Zentimeter und als Zeiteinheit 1 Sekunde verwendet. Auf die gleichen Einheiten der Länge und Zeit beziehen sich auch die Maßzahlen für die Beschleunigungen der Schwerpunkte in den Tabellen 15 bis 32 des V. Teils. Bei der Multiplikation der letzteren mit den oben angegebenen Massenzahlen erhält man nun die Effektivkräfte in Gramm ausgedrückt. Infolge der kleinen Krafteinheit fallen aber dabei die Maßzahlen unbequem groß aus, ganz davon abgesehen, daß bei der hier überhaupt nur erreichbaren Genauigkeit den Einern dieser Zahlen gar keine, und den Zehnern nur sehr angenäherte Gültigkeit beizumessen ist. Aus diesem Grunde sollen die Komponenten der Effektivkräfte in den folgenden Tabellen nicht in Gramm, sondern in Kilogramm ausgedrückt werden.[1]) Man erreicht dies natürlich durch nach-

1) Es ist zwar im IV. Teil dieser Untersuchung auf Seite 541 festgesetzt worden, als Krafteinheit das Gramm einzuführen, um zu vermeiden, daß die Maßzahlen für die Massen der einzelnen Körperteile zu klein werden. Die weitere Untersuchung hat jedoch gezeigt, daß unter dieser Voraussetzung die Maßzahlen für die wirksamen Kräfte und die von ihnen ausgeübten Drehungsmomente unbequem groß ausfallen. Daher sollen entgegen der früheren Festsetzung die Kräfte in Zukunft in Kilogramm ausgedrückt werden, wie das übrigens schon in den Tabellen 16 und 17 des II. Teils für die äußeren Kräfte des ganzen Körpers und die Reaktionen des Fußbodens geschehen ist.

trägliche Division der Zahlen mit 1000. Man gelangt aber auch zu demselben Resultat, wenn man von vornherein die der Krafteinheit von 1 Kilogramm entsprechenden 1000mal kleineren Massenzahlen einführt; dieselben betragen demnach für den Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß beziehungsweise 0,00693; 0,00315 und 0,00107.

Durch Multiplikation dieser Zahlen mit den in den Tabellen 15 bis 32 des V. Teils angegebenen Schwerpunktsbeschleunigungen erhält man nun die in den folgenden Tabellen 1 bis 6 niedergelegten Komponenten der Effektivkräfte des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes. Bei den Komponenten in der Gangrichtung deutet das positive Vorzeichen auf die Richtung nach vorn, und infolgedessen das negative Zeichen auf die Richtung nach hinten. Die in vertikaler Richtung verlaufenden Komponenten sind dagegen mit positivem oder negativem Vorzeichen versehen worden, je nachdem es sich um die Richtung nach oben oder unten handelt. Durch Addition entsprechender Komponenten dieser drei Effektivkräfte ergeben sich weiterhin die Komponenten der Effektivkraft des ganzen Beins. Addiert man dagegen nur die entsprechenden Komponenten der Effektivkräfte des Unterschenkels und Fußes, so erhält man die Komponenten der Effektivkraft des Systems Unterschenkel mit Fuß. Auch diese Berechnungen sind ausgeführt und die Resultate derselben in die Tabellen aufgenommen worden. Im Interesse der Einfachheit der Darstellung der später abzuleitenden Formeln für die Drehungsmomente der Effektivkräfte sollen alle Komponenten von Effektivkräften in der Gangrichtung kurz mit X und alle in die vertikale Richtung fallenden mit Z und angehängten Indices, welche sich auf die Numerierung der betreffenden Körperteile beziehen, bezeichnet werden.

Digitized by Google

Tabelle I.

Komponenten der Effektivkräfte für die Abschnitte des rechten Beins während der Periode des Schwingens beim I. Versuch in kg.

Zeit in 1/100 Sekunden	r. Oberschenkel		r. Unterschenkel		r. Fuß		r. ganzes Bein		r. Unterschenkel mit Fuß		Zeit in 1/100 Sekunden
	Gangrichtung X_2	Vertikale Richtung Z_2	Gangrichtung X_4	Vertikale Richtung Z_4	Gangrichtung X_6	Vertikale Richtung Z_6	Gangrichtung $X_{2,4,6}$	Vertikale Richtung $Z_{2,4,6}$	Gangrichtung $X_{4,6}$	Vertikale Richtung $Z_{4,6}$	
0	+2,15	0	+3,78	+0,16	+3,73	0	+9,66	+0,16	+7,51	+0,16	0
1	+1,11	+0,62	+3,31	+0,13	+3,71	−0,54	+8,13	+0,21	+7,02	−0,41	1
2	0	+1,46	+2,87	+0,09	+3,56	−1,71	+6,43	−0,16	+6,43	−1,62	2
3	−0,62	+2,43	+2,77	+0,06	+3,34	−2,28	+5,49	+0,21	+6,11	−2,22	3
4	−1,25	+3,53	+2,17	+0,03	+3,05	−2,23	+3,97	+1,33	+5,22	−2,20	4
5	−1,59	+4,44	+1,86	0	+2,72	−1,89	+2,99	+2,55	+4,58	−1,89	5
6	−2,01	+5,47	+1,54	−0,03	+2,46	−1,67	+1,99	+3,77	+4,00	−1,70	6
7	−2,29	+6,10	+1,26	−0,06	+2,11	−1,47	+1,08	+4,57	+3,37	−1,53	7
8	−2,56	+5,82	+1,04	−0,09	+1,77	−1,24	+0,25	+4,49	+2,81	−1,33	8
9	−2,70	+4,50	+0,85	−0,13	+1,43	−1,08	−0,42	+3,39	+2,28	−1,21	9
10	−2,77	+3,05	+0,66	−0,19	+1,10	−0,92	−1,01	+1,94	+1,76	−1,11	10
11	−2,84	+1,59	+0,54	−0,22	+0,77	−0,78	−1,53	+0,59	+1,31	−1,00	11
12	−2,91	0	+0,38	−0,35	+0,54	−0,64	−1,99	−0,99	+0,92	−0,99	12
13	−2,98	−0,42	+0,28	−0,54	+0,58	−0,50	−2,12	−1,46	+0,86	−1,04	13
14	−3,12	−0,97	0	−0,82	+0,76	−0,37	−2,36	−2,16	+0,76	−1,19	14
15	−3,26	−1,59	−0,09	−1,04	+0,92	−0,25	−2,43	−2,88	+0,83	−1,29	15
16	−3,33	−2,22	−0,28	−1,42	+0,96	−0,12	−2,65	−3,76	+0,68	−1,54	16
17	−3,47	−2,91	−0,44	−1,64	+0,90	0	−3,01	−4,55	+0,46	−1,64	17
18	−3,53	−3,60	−0,60	−1,20	+0,76	+0,21	−3,37	−4,59	+0,16	−0,99	18
19	−3,53	−4,09	−0,76	−0,85	+0,56	+0,39	−3,73	−4,55	−0,20	−0,46	19
20	−3,60	−4,57	−0,98	−0,54	+0,35	+0,57	−4,23	−4,54	−0,63	+0,03	20
21	−3,53	−4,99	−1,17	−0,38	+0,18	+0,74	−4,52	−4,63	−0,99	+0,36	21
22	−3,47	−5,41	−1,42	−0,28	0	+0,91	−4,89	−4,78	−1,42	+0,63	22
23	−3,33	−5,68	−1,64	−0,25	−0,22	+1,08	−5,19	−4,85	−1,86	+0,83	23
24	−3,26	−6,03	−1,86	−0,28	−0,43	+1,23	−5,55	−5,08	−2,29	+0,95	24
25	−3,12	−6,24	−2,02	−0,35	−0,72	+1,36	−5,86	−5,23	−2,74	+1,01	25
26	−2,84	−6,44	−2,27	−0,44	−0,93	+1,46	−6,04	−5,42	−3,20	+1,02	26
27	−2,36	−6,03	−2,49	−0,54	−1,19	+1,52	−6,04	−5,05	−3,68	+0,98	27
28	−1,66	−4,92	−2,80	−0,85	−1,39	+1,47	−5,85	−4,30	−4,19	+0,62	28
29	−0,76	−3,40	−3,09	−0,47	−1,66	+1,39	−5,51	−2,48	−4,75	+0,92	29
30	0	−1,73	−3,47	0	−1,88	+1,20	−5,35	−0,53	−5,35	+1,20	30
31	+1,73	0	−3,93	+2,08	−2,23	+0,91	−4,43	+2,99	−6,16	+2,99	31
32	+2,77	+1,39	−5,44	+1,26	−2,66	0	−5,33	+2,65	−8,10	+1,26	32
33	+3,60	+2,91	−4,63	+0,69	−3,16	−0,64	−4,19	+2,96	−7,79	+0,05	33
34	+4,02	+4,23	−2,84	+0,38	−3,85	−2,46	−2,67	+2,15	−6,69	−2,08	34
35	+4,23	+5,13	0	+0,13	−5,89	−3,32	−1,66	+1,94	−5,89	−3,19	35
36	+4,30	+6,17	+1,58	0	−8,67	−3,39	−2,79	+2,78	−7,09	−3,39	36
37	+3,95	+6,38	0	−0,13	−6,42	−2,68	−2,47	+3,57	−6,42	−2,81	37
38	+3,60	+5,34	−3,09	−0,22	−2,68	−2,03	−2,17	+3,09	−5,77	−2,25	38
39	+3,12	+3,40	−3,47	−0,25	0	−1,34	−0,35	+1,81	−3,47	−1,59	39
40	+2,29	0	−3,31	−0,28	+1,55	−0,54	+0,53	−0,82	−1,76	−0,82	40
41	+1,32	−4,37	−2,74	−0,32	+1,64	0	+0,22	−4,69	−1,10	−0,32	41
41,5	+0,90	−4,71	−2,30	−0,35	+1,28	+0,43	−0,12	−4,63	−1,02	+0,08	41,5

Digitized by Google

Tabelle 2.

Komponenten der Effektivkräfte für die Abschnitte des linken Beins während der Periode des Schwingens beim I. Versuch in kg.

Zeit in 1/100 Sekunden	l. Oberschenkel		l. Unterschenkel		l. Fuß		l. ganzes Bein		l. Unterschenkel mit Fuß		Zeit in 1/100 Sekunden
	Gangrichtung X_5	Vertikale Richtung Z_5	Gangrichtung X_6	Vertikale Richtung Z_6	Gangrichtung X_7	Vertikale Richtung Z_7	Gangrichtung $X_{5,6,7}$	Vertikale Richtung $Z_{5,6,7}$	Gangrichtung $X_{6,7}$	Vertikale Richtung $Z_{6,7}$	
0	+0,42	0	+2,58	+0,41	+3,00	0	+6,00	+0,41	+5,58	+0,41	0
1	0	+1,25	+2,33	+0,22	+3,25	−0,96	+5,58	+0,51	+5,58	−0,74	1
2	−0,62	+3,12	+2,11	0	+3,30	−1,87	+4,79	+1,25	+5,41	−1,87	2
3	−1,11	+4,44	+1,89	−0,22	+3,18	−2,49	+3,96	+1,73	+5,07	−2,71	3
4	−1,32	+5,34	+1,67	−0,35	+3,00	−2,71	+3,35	+2,28	+4,67	−3,06	4
5	−1,59	+5,54	+1,51	−0,47	+2,72	−2,66	+2,64	+2,41	+4,23	−3,13	5
6	−1,80	+5,27	+1,32	−0,63	+2,51	−2,35	+2,03	+2,29	+3,83	−2,98	6
7	−1,94	+4,78	+1,20	−0,72	+2,28	−1,98	+1,54	+2,08	+3,48	−2,70	7
8	−2,01	+4,02	+1,01	−0,85	+2,12	−1,64	+1,12	+1,53	+3,13	−2,49	8
9	−2,08	+3,26	+0,85	−0,95	+1,81	−1,34	+0,58	+0,97	+2,66	−2,29	9
10	−2,15	+1,25	+0,72	−1,04	+1,59	−1,16	+0,16	−0,95	+2,31	−2,20	10
11	−2,22	0	+0,60	−1,20	+1,36	−0,94	−0,26	−2,14	+1,96	−2,14	11
12	−2,36	−0,83	+0,54	−1,35	+1,13	−0,72	−0,69	−2,90	+1,67	−2,07	12
13	−2,43	−1,18	+0,41	−1,58	+0,91	−0,52	−1,11	−3,28	+1,32	−2,10	13
14	−2,49	−1,66	+0,35	−1,42	+0,72	−0,35	−1,42	−3,43	+1,07	−1,77	14
15	−2,56	−2,08	+0,28	−1,10	+0,48	−0,19	−1,80	−3,37	+0,76	−1,29	15
16	−2,63	−2,56	+0,16	−0,91	+0,36	0	−2,11	−3,47	+0,52	−0,91	16
17	−2,70	−2,91	0	−0,72	+0,26	+0,11	−2,44	−3,52	+0,26	−0,61	17
18	−2,63	−3,26	−0,16	−0,54	+0,24	+0,27	−2,55	−3,53	+0,08	−0,27	18
19	−2,56	−3,53	−0,32	−0,41	+0,35	+0,42	−2,53	−3,52	+0,03	+0,01	19
20	−2,56	−3,74	−0,50	−0,32	+0,64	+0,54	−2,42	−3,52	+0,14	+0,22	20
21	−2,56	−3,81	−0,72	−0,35	+0,83	+0,71	−2,45	−3,45	+0,11	+0,36	21
22	−2,49	−3,81	−0,91	−0,44	+0,75	+0,86	−2,65	−3,39	−0,16	+0,42	22
23	−2,43	−3,95	−1,26	−0,60	+0,50	+1,03	−3,19	−3,52	−0,76	+0,43	23
24	−2,29	−4,09	−1,64	−0,50	0	+1,21	−3,93	−3,38	−1,64	+0,71	24
25	−2,15	−4,23	−2,08	−0,19	−0,20	+1,44	−4,43	−2,98	−2,28	+1,25	25
26	−2,01	−4,30	−2,58	0	−0,51	+1,65	−5,10	−2,65	−3,09	+1,65	26
27	−1,94	−3,95	−2,93	+0,79	−0,80	+1,84	−5,67	−1,32	−3,73	+2,63	27
28	−1,80	−3,53	−4,00	+1,07	−1,09	+1,79	−6,89	−0,67	−5,09	+2,86	28
29	−1,46	−2,91	−4,79	+0,72	−1,43	+1,52	−7,68	−0,67	−6,22	+2,24	29
30	−1,11	−2,08	−5,36	+0,54	−2,09	+1,12	−8,56	−0,42	−7,45	+1,66	30
31	0	−1,18	−5,07	+0,41	−3,19	+0,64	−8,26	−0,13	−8,26	+1,05	31
32	+1,46	0	−4,35	+0,35	−4,00	0	−6,89	+0,35	−8,35	+0,35	32
33	+4,16	+1,39	−3,31	+0,25	−4,44	−0,59	−3,59	+1,05	−7,75	−0,34	33
34	+6,44	+3,33	−1,48	+0,22	−4,71	−1,34	+0,25	+2,21	−6,19	−1,12	34
35	+9,29	+4,85	0	+0,13	−4,73	−2,68	+4,56	+2,30	−4,73	−2,55	35
36	+8,80	+6,58	+1,01	+0,06	−4,68	−4,71	+5,13	+1,93	−3,67	−4,65	36
37	+6,86	+7,35	0	0	−4,44	−3,53	+2,42	+3,82	−4,44	−3,53	37
38	+3,81	+6,93	−2,30	−0,06	−3,87	−1,98	−2,36	+4,89	−6,17	−2,04	38
39	0	+5,20	−3,31	−0,09	−2,89	−0,91	−6,20	+4,20	−6,20	−1,00	39
40	−3,81	0	−3,56	−0,19	−1,34	0	−8,71	−0,19	−4,90	−0,19	40
41	−6,93	−4,64	−3,15	−0,25	0	+0,27	−10,08	−2,62	−3,15	+0,02	41
41,7	−8,66	−6,24	−2,43	−0,28	+1,28	+0,54	−9,81	−5,98	−1,15	+0,26	41,7

Digitized by Google

Tabelle 3.

Komponenten der Effektivkräfte für die Abschnitte des rechten Beins während der Periode des Schwingens beim II. Versuch in kg.

Zeit in 1/100 Sekunden	r. Oberschenkel		r. Unterschenkel		r. Fuß		r. ganzes Bein		r. Unterschenkel mit Fuß		Zeit in 1/100 Sekunden
	Gangrichtung X_3	Vertikale Richtung Z_3	Gangrichtung X_4	Vertikale Richtung Z_4	Gangrichtung X_6	Vertikale Richtung Z_6	Gangrichtung $X_{2,4,6}$	Vertikale Richtung $Z_{2,4,6}$	Gangrichtung $X_{4,6}$	Vertikale Richtung $Z_{4,6}$	
0	+2,56	+ 4,71	+3,09	+0,28	+3,82	0	+9,47	+ 4,99	+6,91	+0,28	0
1	+1,52	+ 4,64	+2,77	+0,25	+3,79	−0,51	+8,08	+ 4,38	+6,56	−0,26	1
2	+0,69	+ 4,37	+2,43	+0,22	+3,50	−1,11	+6,62	+ 3,48	+5,93	−0,89	2
3	0	+ 4,16	+2,11	+0,16	+3,12	−1,68	+5,23	+ 2,64	+5,23	−1,52	3
4	−0,83	+ 3,81	+1,83	+0,09	+2,72	−1,93	+3,72	+ 1,97	+4,55	−1,84	4
5	−1,39	+ 3,33	+1,51	+0,03	+2,40	−1,87	+2,52	+ 1,19	+3,91	−1,84	5
6	−1,80	+ 2,91	+1,26	0	+2,14	−1,68	+1,60	+ 1,23	+3,40	−1,68	6
7	−2,08	+ 2,36	+1,01	−0,06	+1,90	−1,48	+0,83	+ 0,82	+2,91	−1,54	7
8	−2,43	+ 1,94	+0,76	−0,13	+1,68	−1,26	+0,01	+ 0,55	+2,44	−1,39	8
9	−2,63	+ 1,39	+0,57	−0,25	+1,44	−1,12	−0,62	+ 0,02	+2,01	−1,37	9
10	−2,84	+ 0,69	+0,38	−0,35	+1,21	−0,98	−1,25	− 0,64	+1,59	−1,33	10
11	−2,98	0	+0,22	−0,47	+1,00	−0,80	−1,76	− 1,36	+1,22	−1,36	11
12	−3,26	− 0,97	0	−0,60	+0,88	−0,74	−2,38	− 2,31	+0,88	−1,34	12
13	−3,40	− 1,87	−0,09	−0,72	+0,92	−0,62	−2,57	− 3,21	+0,83	−1,34	13
14	−3,47	− 2,63	−0,22	−0,88	+1,09	−0,47	−2,60	− 3,98	+0,87	−1,35	14
15	−3,53	− 3,26	−0,35	−1,01	+1,29	−0,33	−2,59	− 4,60	+0,94	−1,34	15
16	−3,60	− 3,67	−0,50	−1,20	+1,32	−0,14	−2,78	− 5,01	+0,82	−1,34	16
17	−3,67	− 4,30	−0,63	−1,45	+1,17	0	−3,13	− 5,75	+0,54	−1,45	17
18	−3,74	− 4,99	−0,69	−1,67	+0,93	+0,19	−3,50	− 6,37	+0,24	−1,38	18
19	−3,67	− 5,75	−0,88	−1,17	+0,62	+0,33	−3,93	− 6,59	−0,26	−0,84	19
20	−3,60	− 6,72	−1,10	−0,66	+0,29	+0,51	−4,41	− 6,87	−0,81	−0,15	20
21	−3,53	− 7,42	−1,29	−0,57	0	+0,72	−4,82	− 7,27	−1,29	+0,15	21
22	−3,40	− 8,25	−1,48	−0,54	−0,19	+0,88	−5,07	− 7,91	−1,67	+0,34	22
23	−3,26	− 9,01	−1,64	−0,60	−0,32	+1,07	−5,22	− 8,54	−1,96	+0,47	23
24	−2,98	−10,26	−1,92	−0,63	−0,45	+1,23	−5,35	− 9,66	−2,37	+0,60	24
25	−2,43	−11,57	−2,17	−0,41	−0,55	+1,39	−5,15	−10,59	−2,72	+0,98	25
26	−1,87	−12,96	−2,49	−0,28	−0,67	+1,61	−5,03	−11,63	−3,16	+1,33	26
27	−1,11	−14,90	−2,77	−0,19	−0,82	+1,77	−4,70	−13,32	−3,59	+1,58	27
28	−0,49	−16,70	−3,09	0	−1,06	+1,68	−4,64	−15,02	−4,15	+1,68	28
29	0	−18,71	−3,40	+0,09	−1,48	+1,44	−4,88	−17,18	−4,88	+1,53	29
30	+1,52	−19,29	−3,91	+0,38	−2,01	+1,08	−4,40	−17,83	−5,92	+1,46	30
31	+2,84	−10,40	−5,29	+0,69	−2,70	+0,41	−5,15	− 9,30	−7,99	+1,10	31
32	+4,02	0	−4,41	+1,07	−3,58	0	−3,97	+ 1,07	−7,99	+1,07	32
33	+4,78	+52,32	−1,98	+0,88	−5,63	−2,51	−2,83	+50,69	−7,61	−1,63	33
34	+5,41	+34,65	0	+0,69	−5,56	−3,96	−0,15	+31,38	−5,56	−3,27	34
35	+6,03	+17,33	+1,45	+0,50	−4,90	−4,49	+2,58	+13,34	−3,45	−3,99	35
36	+6,17	+ 4,16	+1,10	+0,35	−4,01	−2,84	+3,26	+ 1,67	−2,91	−2,49	36
37	+5,61	0	0	+0,19	−3,06	−1,82	+2,55	− 1,63	−3,06	−1,63	37
38	+4,09	− 2,84	−3,31	0	−2,09	−1,02	−1,31	− 3,86	−5,40	−1,02	38
39	0	− 3,12	−4,10	−0,25	0	−0,48	−4,10	− 3,85	−4,10	−0,73	39
40	−2,43	− 1,25	−4,00	−0,47	+2,58	0	−3,85	− 1,72	−1,42	−0,47	40
40,8	−3,81	0	−3,53	−0,63	+2,39	+0,17	−4,95	− 0,46	−1,14	−0,46	40,8

Digitized by Google

Tabelle 4.

Komponenten der Effektivkräfte für die Abschnitte des linken Beins während der Periode des Schwingens beim II. Versuch in kg.

Zeit in 1/100 Sekunden	l. Oberschenkel		l. Unterschenkel		l. Fuß		l. ganzes Bein		l. Unterschenkel mit Fuß		Zeit in 4/10 Sekunden
	Gangrichtung X_3	Vertikale Richtung Z_3	Gangrichtung X_5	Vertikale Richtung Z_5	Gangrichtung X_7	Vertikale Richtung Z_7	Gangrichtung $X_{3,5,7}$	Vertikale Richtung $Z_{3,5,7}$	Gangrichtung $X_{5,7}$	Vertikale Richtung $Z_{5,7}$	
0	+3,12	+1,04	+3,06	+0,25	+3,25	0	+9,43	+1,29	+ 6,31	+0,25	0
1	+1,80	+2,77	+2,84	+0,22	+3,40	−0,35	+8,04	+2,64	+ 6,24	−0,13	1
2	0	+3,81	+2,55	+0,09	+3,51	−1,23	+6,06	+2,67	+ 6,06	−1,14	2
3	−0,49	+4,85	+2,24	0	+3,46	−1,95	+5,21	+2,90	+ 5,70	−1,95	3
4	−0,90	+5,41	+1,98	−0,13	+3,25	−2,39	+4,33	+2,89	+ 5,23	−2,52	4
5	−1,46	+5,61	+1,80	−0,25	+2,94	−2,61	+3,28	+2,75	+ 4,74	−2,86	5
6	−1,59	+5,27	+1,64	−0,38	+2,59	−2,65	+2,64	+2,24	+ 4,23	−3,03	6
7	−1,94	+4,78	+1,51	−0,54	+2,07	−2,49	+1,64	+1,75	+ 3,58	−3,03	7
8	−2,08	+4,02	+1,32	−0,66	+1,63	−2,10	+0,87	+1,26	+ 2,95	−2,76	8
9	−2,22	+2,91	+1,20	−0,79	+1,25	−1,75	+0,23	+0,37	+ 2,45	−2,54	9
10	−2,43	+1,32	+1,01	−0,91	+1,00	−1,42	−0,42	−1,01	+ 2,01	−2,33	10
11	−2,63	0	+0,88	−1,01	+0,85	−1,10	−0,90	−2,11	+ 1,73	−2,11	11
12	−2,77	−0,90	+0,69	−1,20	+0,77	−0,86	−1,31	−2,96	+ 1,46	−2,06	12
13	−2,84	−1,59	+0,54	−1,26	+0,76	−0,62	−1,54	−3,47	+ 1,30	−1,88	13
14	−2,98	−2,15	+0,32	−1,42	+0,82	−0,40	−1,84	−3,97	+ 1,14	−1,82	14
15	−3,19	−2,63	0	−1,61	+0,94	−0,18	−2,25	−4,42	+ 0,94	−1,79	15
16	−3,33	−3,12	−0,22	−1,86	+1,09	0	−2,46	−4,98	+ 0,87	−1,86	16
17	−3,47	−3,53	−0,44	−1,18	+1,18	+0,15	−2,73	−4,86	+ 0,74	−1,33	17
18	−3,53	−4,02	−0,72	−1,04	+1,19	+0,31	−3,06	−4,75	+ 0,47	−0,73	18
19	−3,60	−4,30	−1,10	−0,66	+1,11	+0,47	−3,59	−4,19	+ 0,01	−0,19	19
20	−3,67	−4,50	−1,48	−0,47	+0,96	+0,61	−4,19	−4,36	− 0,52	+0,14	20
21	−3,74	−4,71	−1,89	−0,35	+0,70	+0,75	−4,93	−4,31	− 1,19	+0,40	21
22	−3,81	−4,92	−2,27	−0,28	0	+0,91	−6,08	−4,29	− 2,27	+0,63	22
23	−3,74	−5,13	−2,61	−0,35	−0,48	+1,14	−6,83	−4,34	− 3,09	+0,79	23
24	−3,67	−4,99	−2,93	−0,47	−1,00	+1,31	−7,60	−4,15	− 3,93	+0,84	24
25	−3,53	−4,85	−3,21	−0,57	−1,32	+1,51	−8,06	−3,91	− 4,53	+0,94	25
26	−3,33	−4,37	−3,62	0	−1,62	+1,81	−8,57	−2,56	− 5,24	+1,81	26
27	−3,05	−3,53	−4,16	+0,35	−1,89	+1,98	−9,10	−1,20	− 6,05	+2,33	27
28	−2,36	−2,63	−4,73	+0,95	−2,16	+1,72	−9,25	+0,04	− 6,89	+2,67	28
29	−1,25	−1,52	−4,38	+1,29	−2,35	+1,39	−7,98	+1,16	− 6,73	+2,68	29
30	0	0	−3,53	+1,20	−2,55	+1,08	−6,08	+2,28	− 6,08	+2,28	30
31	+3,12	+1,59	−1,83	+0,91	−2,79	+0,67	−1,50	+3,17	− 4,62	+1,58	31
32	+4,85	+3,53	0	+0,69	−3,08	0	+1,77	+4,22	− 3,08	+0,69	32
33	+6,31	+4,71	+1,42	+0,44	−3,43	−0,27	+4,30	+4,88	− 2,01	+0,17	33
34	+7,34	+5,34	0	+0,16	−4,12	−1,34	+3,22	+4,16	− 4,12	−1,18	34
35	+7,21	+5,54	−1,48	0	−5,89	−5,08	−0,16	+0,46	− 7,37	−5,08	35
36	+6,58	+5,34	−2,71	−0,16	−7,83	−4,28	−3,96	+0,90	−10,54	−4,44	36
37	+5,61	+4,64	−3,37	−0,25	−5,56	−3,26	−3,32	+1,13	− 8,93	−3,51	37
38	+3,81	+3,53	−3,50	−0,35	0	−2,03	+0,31	+1,15	− 3,50	−2,38	38
39	0	+1,73	−3,15	−0,41	+1,12	−1,07	−2,03	+0,25	− 2,03	−1,48	39
40	−2,08	0	−2,55	−0,47	+1,51	0	−3,12	−0,47	− 1,04	−0,47	40
40,9	−6,24	−1,66	−2,14	−0,50	+1,07	+0,64	−7,31	−1,52	− 1,07	+0,14	40,9

Digitized by Google

Tabelle 5.

Komponenten der Effektivkräfte für die Abschnitte des rechten Beins während der Periode des Schwingens beim III. Versuch in kg.

Zeit in 1/100 Sekunden	r. Oberschenkel		r. Unterschenkel		r. Fuß		r. ganzes Bein		r. Unterschenkel mit Fuß		Zeit in 1/100 Sekunden
	Gangrichtung X_2	Vertikale Richtung Z_2	Gangrichtung X_4	Vertikale Richtung Z_4	Gangrichtung X_6	Vertikale Richtung Z_6	Gangrichtung $X_{2,4,6}$	Vertikale Richtung $Z_{2,4,6}$	Gangrichtung $X_{4,6}$	Vertikale Richtung $Z_{4,6}$	
0	+1,73	−0,35	+2,05	−0,09	+3,00	+0,59	+6,78	+0,15	+5,05	+0,50	0
1	0	0	+1,92	−0,13	+3,10	0	+5,02	−0,13	+5,02	−0,13	1
2	−0,62	+0,42	+1,80	−0,16	+3,06	−1,12	+4,24	−0,86	+4,86	−1,28	2
3	−1,39	+0,69	+1,67	−0,19	+2,89	−2,38	+3,17	−1,88	+4,56	−2,57	3
4	−1,87	+1,32	+1,61	−0,25	+2,68	−2,51	+2,42	−1,44	+4,29	−2,76	4
5	−2,01	+1,94	+1,51	−0,35	+2,46	−2,32	+1,96	−0,73	+3,97	−2,67	5
6	−2,08	+2,63	+1,45	−0,35	+2,19	−2,04	+1,56	+0,24	+3,64	−2,39	6
7	−2,08	+3,33	+1,32	−0,47	+1,90	−1,72	+1,14	+1,14	+3,22	−2,19	7
8	−2,15	+4,09	+1,26	−0,60	+1,72	−1,49	+0,83	+2,00	+2,98	−2,09	8
9	−2,22	+4,99	+1,20	−0,66	+1,46	−1,31	+0,44	+3,02	+2,66	−1,97	9
10	−2,29	+5,54	+1,10	−0,85	+1,24	−1,16	+0,05	+3,53	+2,34	−2,01	10
11	−2,36	+6,03	+1,01	−1,01	+1,02	−0,98	−0,33	+4,04	+2,03	−1,99	11
12	−2,49	+6,24	+0,91	−1,51	+0,83	−0,83	−0,75	+3,90	+1,74	−2,34	12
13	−2,56	+4,16	+0,79	−3,15	+0,70	−0,63	−1,07	+0,38	+1,49	−3,78	13
14	−2,70	0	+0,57	−1,26	+0,66	−0,47	−1,47	−1,73	+1,23	−1,73	14
15	−2,77	−2,22	+0,38	−0,69	+0,81	−0,31	−1,58	−2,22	+1,19	−1,00	15
16	−2,84	−3,60	+0,22	−0,47	+0,93	−0,14	−1,69	−4,21	+1,15	−0,61	16
17	−2,91	−4,23	0	−0,32	+1,00	0	−1,91	−4,55	+1,00	−0,32	17
18	−2,98	−4,71	−0,35	−0,32	+0,96	+0,16	−2,37	−4,87	+0,61	−0,16	18
19	−3,05	−5,34	−0,66	−0,47	+0,85	+0,32	−2,86	−5,49	+0,19	−0,15	19
20	−3,12	−5,54	−1,07	−0,57	+0,66	+0,48	−3,53	−5,63	−0,41	−0,09	20
21	−3,05	−6,03	−1,48	−0,50	+0,47	+0,62	−4,06	−5,91	−1,01	+0,12	21
22	−3,05	−6,24	−1,70	−0,28	+0,24	+0,75	−4,51	−5,77	−1,46	+0,47	22
23	−2,98	−6,44	−1,95	−0,16	0	+0,93	−4,93	−5,67	−1,95	+0,77	23
24	−2,84	−6,72	−2,14	0	−0,28	+1,10	−5,26	−5,62	−2,42	+1,10	24
25	−2,63	−6,86	−2,24	+0,16	−0,55	+1,31	−5,42	−5,39	−2,79	+1,47	25
26	−2,29	−6,93	−2,43	+0,32	−0,86	+1,51	−5,58	−5,10	−3,29	+1,83	26
27	−1,80	−6,79	−2,52	+0,60	−1,21	+1,73	−5,53	−4,46	−3,73	+2,33	27
28	−0,97	−6,65	−2,71	+0,72	−1,56	+2,00	−5,24	−3,93	−4,27	+2,72	28
29	0	−5,96	−2,84	+0,63	−1,90	+2,13	−4,74	−3,20	−4,74	+2,76	29
30	+1,04	−3,81	−3,18	+0,50	−2,23	+1,71	−4,37	−1,60	−5,41	+2,21	30
31	+1,87	0	−3,50	+0,38	−2,55	0	−4,18	+0,38	−6,05	+0,38	31
32	+2,98	+5,06	−3,62	+0,19	−2,89	−1,07	−3,53	+4,18	−6,51	−0,88	32
33	+4,23	+5,68	−3,15	0	−3,26	−3,21	−2,18	+2,47	−6,41	−3,21	33
34	+4,78	+5,41	−1,73	−0,19	−4,12	−2,96	−1,07	+2,26	−5,85	−3,15	34
35	+5,13	+4,64	0	−0,35	−5,50	−2,46	−0,37	+1,83	−5,50	−2,81	35
36	+5,34	+3,81	+1,32	−0,38	−6,85	−2,01	−0,19	+1,42	−5,53	−2,39	36
37	+4,71	+3,05	0	−0,50	−7,28	−1,63	−2,57	+0,92	−7,28	−2,13	37
38	+3,67	+2,43	−2,27	−0,57	−3,75	−1,11	−2,35	+0,75	−6,02	−1,68	38
39	+2,29	+1,94	−4,10	−0,63	0	−0,73	−1,81	+0,58	−4,10	−1,36	39
40	0	+1,66	−4,47	−0,69	+1,25	−0,33	−3,22	+0,64	−3,22	−1,02	40
41	−3,81	+1,32	−3,28	−0,76	+1,09	0	−6,00	+0,56	−2,19	−0,76	41
41,45	−4,37	+1,18	−2,99	−0,79	+0,94	+0,12	−6,42	+0,51	−2,05	−0,67	41,40

Digitized by Google

Tabelle 6.

Komponenten der Effektivkräfte für die Abschnitte des linken Beins während der Periode des Schwingens beim III. Versuch in kg.

Zeit in 1/100 Sekunden	l. Oberschenkel		l. Unterschenkel		l. Fuß		l. ganzes Bein		l. Unterschenkel mit Fuß		Zeit in 1/100 Sekunden
	Gangrichtung X_5	Vertikale Richtung Z_5	Gangrichtung X_6	Vertikale Richtung Z_6	Gangrichtung X_7	Vertikale Richtung Z_7	Gangrichtung $X_{5,6,7}$	Vertikale Richtung $Z_{5,6,7}$	Gangrichtung $X_{6,7}$	Vertikale Richtung $Z_{6,7}$	
0	0	0	+3,24	+0,57	+3,64	0	+6,88	+0,57	+6,88	+0,57	0
1	−0,42	+1,52	+2,93	+0,50	+3,62	−2,30	+6,13	−0,28	+6,55	−1,80	1
2	−0,83	+3,67	+2,46	+0,35	+3,49	−2,88	+5,12	+1,14	+5,95	−2,53	2
3	−1,32	+5,20	+2,14	+0,22	+3,20	−2,86	+4,02	+2,56	+5,34	−2,64	3
4	−1,66	+5,82	+1,80	0	+2,78	−2,57	+2,92	+3,25	+4,58	−2,57	4
5	−1,94	+6,24	+1,51	−0,16	+2,32	−2,23	+1,89	+3,85	+3,83	−2,39	5
6	−2,08	+5,89	+1,23	−0,25	+1,93	−1,92	+1,08	+3,72	+3,16	−2,17	6
7	−2,15	+5,27	+0,98	−0,38	+1,61	−1,65	+0,44	+3,24	+2,59	−2,03	7
8	−2,29	+4,37	+0,69	−0,54	+1,28	−1,47	−0,32	+2,36	+1,97	−2,01	8
9	−2,43	+2,84	+0,50	−0,66	+1,04	−1,33	−0,89	+0,85	+1,54	−1,99	9
10	−2,56	+1,39	+0,25	−0,79	+0,82	−1,14	−1,49	−0,54	+1,07	−1,93	10
11	−2,63	0	0	−0,91	+0,77	−1,01	−1,86	−1,92	+0,77	−1,92	11
12	−2,70	−0,83	−0,13	−1,10	+0,79	−0,79	−2,04	−2,72	+0,66	−1,89	12
13	−2,77	−1,46	−0,28	−1,20	+0,87	−0,60	−2,18	−3,26	+0,59	−1,80	13
14	−2,91	−1,94	−0,38	−1,39	+0,98	−0,42	−2,31	−3,75	+0,60	−1,81	14
15	−3,12	−2,36	−0,54	−1,73	+1,04	−0,24	−2,62	−4,33	+0,50	−1,97	15
16	−3,26	−2,63	−0,66	−2,43	+0,92	−0,07	−3,00	−5,13	+0,26	−2,50	16
17	−3,33	−2,84	−0,85	−1,64	+0,80	0	−3,38	−4,48	−0,05	−1,64	17
18	−3,40	−2,98	−1,01	−1,20	+0,64	+0,18	−3,77	−4,00	−0,37	−1,02	18
19	−3,47	−3,19	−1,17	−0,95	+0,48	+0,32	−4,16	−3,82	−0,69	−0,63	19
20	−3,40	−3,40	−1,32	−0,76	+0,30	+0,46	−4,42	−3,70	−1,02	−0,30	20
21	−3,40	−3,53	−1,48	−0,57	+0,14	+0,58	−4,74	−3,52	−1,34	+0,01	21
22	−3,40	−3,74	−1,67	−0,47	0	+0,72	−5,07	−3,49	−1,67	+0,25	22
23	−3,33	−4,02	−1,83	−0,38	−0,24	+0,86	−5,40	−3,54	−2,07	+0,48	23
24	−3,26	−4,16	−1,98	−0,35	−0,41	+1,04	−5,65	−3,47	−2,39	+0,69	24
25	−3,12	−4,37	−2,14	−0,69	−0,59	+1,20	−5,85	−3,86	−2,73	+0,51	25
26	−2,91	−4,44	−2,30	−1,48	−0,77	+1,43	−5,98	−4,49	−3,07	−0,05	26
27	−2,63	−4,37	−2,46	0	−0,97	+1,77	−6,06	−2,60	−3,43	+1,77	27
28	−2,08	−4,23	−2,61	+0,35	−1,17	+1,95	−5,86	−1,93	−3,78	+2,30	28
29	−1,39	−3,53	−2,87	+0,66	−1,50	+2,02	−5,76	−0,85	−4,37	+2,68	29
30	0	−2,22	−3,02	+0,69	−1,98	+1,34	−5,00	−0,19	−5,00	+2,03	30
31	+1,04	0	−3,15	+0,63	−3,05	+0,59	−5,16	+1,22	−6,20	+1,22	31
32	+2,49	+2,43	−3,09	+0,60	−3,69	0	−4,29	+3,03	−6,78	+0,60	32
33	+4,09	+3,67	−2,90	+0,54	−3,93	−1,57	−2,74	+2,64	−6,83	−1,03	33
34	+5,61	+4,57	−2,55	+0,50	−4,00	−2,25	−0,94	+2,82	−6,55	−1,75	34
35	+6,86	+4,99	−1,98	+0,50	−3,98	−3,23	+0,90	+2,26	−5,96	−2,73	35
36	+7,48	+4,92	−1,39	+0,50	−3,83	−2,73	+2,26	+2,69	−5,22	−2,23	36
37	+7,34	+4,64	−0,91	+0,44	−3,53	−2,03	+2,90	+3,05	−4,44	−1,59	37
38	+6,58	+4,16	−0,57	+0,38	−3,16	−1,47	+2,85	+3,07	−3,73	−1,09	38
39	+3,81	+3,53	−0,60	+0,28	−2,75	−0,96	+0,46	+2,85	−3,35	−0,68	39
40	0	+3,05	−1,01	0	−2,07	−0,56	−3,08	+2,49	−3,08	−0,56	40
41	−5,75	+2,63	−1,51	−0,19	−1,26	−0,14	−8,52	+2,30	−2,77	−0,33	41
41,3	−6,93	+2,43	−1,61	−0,32	−1,07	0	−9,61	+2,11	−2,68	−0,32	41,3

Digitized by Google

Auf Tafel I finden sich die in diesen sechs Tabellen aufgezeichneten Resultate über die Komponenten X und Z der verschiedenen Effektivkräfte in der schon im V. Teil verwendeten Anordnung und Art durch Diagramme veranschaulicht. Die Abszissen derselben sind wieder der Zeit proportional in der Weise, daß die Zeit von 1 sec durch die Länge von 1 dm, und daher die Zeit von 0,01 sec durch die Länge von 1 mm dargestellt ist. Die Ordinaten entsprechen den Komponenten der Effektivkräfte, und zwar repräsentiert die Länge von 1 mm hierbei die Kraft von 1 kg. Für die Darstellung der beiden zusammengehörigen Komponenten einer Effektivkraft ist die gleiche Abszissenachse verwendet worden; das Diagramm für die Komponente Z in der vertikalen Richtung ist vor dem Diagramm für die Komponenten X in der Gangrichtung durch kleine Unterbrechungen im Linienzug kenntlich gemacht. Auf der linken Seite der Tafel finden sich die zum rechten Bein, und auf der rechten Seite der Tafel die zum linken Bein gehörenden Effektivkräfte für alle drei Versuche durch ihre Komponenten dargestellt. Ferner sind bei jedem Bein und für jeden Versuch die fünf Diagramme untereinander gezeichnet worden, welche den Effektivkräften des Oberschenkels, Unterschenkels, Fußes, des ganzen Beins und des aus Unterschenkel und Fuß zusammengesetzten Abschnittes des Beins entsprechen. Infolgedessen finden sich die den verschiedenen Extremitäten und verschiedenen Versuchen zugehörenden gleichartigen Diagramme auf Tafel I wieder alle nebeneinander gestellt, so daß sie leicht mit einander verglichen werden können.

Die Vergleichung äquivalenter Diagramme lehrt nun wieder auf den ersten Blick, daß die Ergebnisse der Untersuchung der sechs von einander vollkommen unabhängigen Schwingungsbewegungen des Beins in qualitativer Beziehung durchaus übereinstimmen. Die Form und der Verlauf entsprechender Diagramme sind im wesentlichen gleich; die Unterschiede beziehen sich hauptsächlich nur auf die vertikale Ausdehnung der Diagramme. In letzterer Hinsicht fällt in die Augen, daß die vertikale Komponente der Effektivkraft des rechten Oberschenkels und der aus dieser abgeleiten Effektivkraft des ganzen rechten Beins beim II. Versuch in der zweiten Hälfte der Schwingungsperiode sowohl in der Richtung nach unten als vor allen Dingen auch in der Richtung nach oben abnorm große Werte annimmt. Ob dieses Resultat

Digitized by Google

auf abnormes Verhalten des rechten Beins beim II. Versuch, oder ob es nur auf einen Beobachtungs- bezüglich Messungsfehler zurückzuführen ist, läßt sich natürlich jetzt hinterher nicht mehr mit voller Sicherheit entscheiden. Der Umstand, daß die in der Gangrichtung verlaufende Komponente dieser Effektivkräfte auch in quantitativer Hinsicht durchaus keine Abnormität aufweist, und daß ferner auch die den übrigen Abschnitten des rechten Beins entsprechenden Effektivkräfte beim II. Versuch sich in jeder Beziehung wie in den anderen fünf Fällen verhalten, macht es jedoch nicht unwahrscheinlich, daß wir es hier mit einem Fehler zu tun haben, der sich an irgend einer Stelle in die Untersuchung eingeschlichen hat. Allerdings könnte für ein abnormes Verhalten des rechten Beins beim II. Versuch der anfängliche Verlauf der beiden Diagramme angeführt werden. Wie dem auch sei; jedenfalls ist aus diesen Diagrammen zu entnehmen, daß die Abweichungen auch hier im wesentlichen nur quantitative sind.

Die im übrigen zu konstatierende qualitative und quantitative Übereinstimmung der nebeneinander stehenden Diagramme auf Tafel I kann für die Effektivkräfte des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes nicht Wunder nehmen, nachdem schon im V. Teil eine so große Übereinstimmung in den Diagrammen für die Beschleunigungen der Schwerpnnkte der drei Abschnitte des Beins zum Vorschein gekommen war; denn die Effektivkräfte sind ja diesen Beschleunigungen proportional. Dagegen darf die Übereinstimmung in den beiden unteren Diagrammreihen auf Tafel I als ein weiterer Beleg für die Sicherheit der erlangten Resultate gelten. Denn da diese Diagramme aus den darüberstehenden, völlig von einander unabhängigen Diagrammen abgeleitet worden sind, so müssen bei ihnen die unvermeidlichen kleinen Beobachtungs- und Messungsfehler sich addieren und dadurch die Genauigkeit verringern. Wenn aber trotzdem die Übereinstimmung der Diagramme für die Effektivkräfte des ganzen Beins sowohl, wie des aus Unterschenkel und Fuß bestehenden Abschnittes des Beins nicht merklich geringer ist wie bei den übrigen Diagrammen, so ist damit erwiesen, daß die Fehlerquellen der Untersuchung zu der dabei erstrebten Genauigkeit in keinem Mißverhältnis stehen.

Um die im Folgenden und in den späteren Abschnitten der Arbeit angeführten Resultate leicht auf die richtige Bewegungsphase des schwingenden Beins beziehen zu können, ist die Figur 8

Digitized by Google

auf Seite 382 des V. Teils an dieser Stelle nochmals als Figur 1 wiedergegeben worden.

Aus den Tabellen 1 bis 6 und den zugehörigen Diagrammen auf Tafel I erkennt man nun folgendes Verhalten der einzelnen Effektivkräfte während des Ablaufs der Schwingungsbewegung eines Beins.

Die horizontale (in die Gangrichtung fallende) Komponente der Effektivkraft des Oberschenkels ist zu Beginn der Periode des Schwingens nach vorn gerichtet. Ihre anfängliche Intensität ist in den einzelnen Fällen etwas verschieden; sie besitzt einen Durchschnittswert von abgerundet 2 kg. In allen Fällen veringert sich

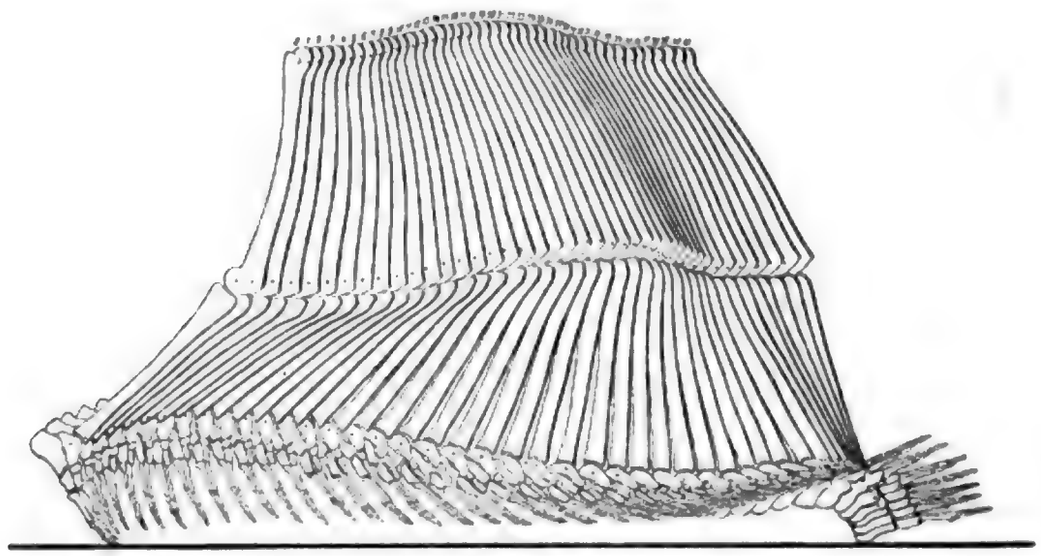


Fig. 1.
Successive Stellungen des Beins während der Periode des Schwingens in zeitlichen Intervallen von $^1/_{100}$ Sekunden.

aber die Intensität sehr rasch, so daß sie etwa schon 0,02 sec nach dem Ablösen des Fußes vom Boden den Wert Null erreicht hat. Von nun an ist die horizontale Komponente dieser Effektivkraft während des größten Teiles der Schwingungsbewegung nach hinten gerichtet; ihre Intensität erreicht dabei sehr bald einen Durchschnittswert von 3 kg, den sie mit einigen Schwankungen nach oben und unten längere Zeit beibehält. Gegen Ende des dritten Viertels der Schwingungszeit, also abgerundet 0,3 sec nach dem Anfang der Periode des Schwingens, erhält dann die nach hinten gerichtete Komponente abermals den Wert Null und von diesem Moment an wieder positive Richtung. Während die horizontale Komponente nach vorn gerichtet ist, nimmt sie nur verhältnismäßig rasch an Intensität zu, bis sie ein Maximum erreicht hat, das beim rechten

Digitized by Google

Bein in der Nähe von 5 kg bleibt, beim linken Bein dagegen in allen drei Versuchen über 7 kg hinausgeht. Nach diesem Maximum, welches ungefähr 0,36 sec nach dem Anfang der Schwingung eingetreten ist, verringert sie dann ihre Intensität ebenso schnell wieder, so daß sie noch vor dem Aufsetzen des Beins nochmals den Wert Null und zuletzt von neuem die Richtung nach hinten annimmt. Eine Ausnahme von diesem Verhalten zeigt nur der rechte Oberschenkel beim I. Versuch; bei diesem erreicht die nach vorn gerichtete Komponente der Effektivkraft zuletzt nicht ganz den Wert Null und nimmt daher vor dem Aufsetzen des Beins auch nicht mehr die Richtung nach hinten an.

Die vertikale Komponente der Effektivkraft des Oberschenkels ist im Anfang der Schwingung beim I. und III. Versuch für beide Beine entweder direkt Null oder doch nur wenig von Null verschieden. Nur beim II. Versuch hat sie von vornherein einen von Null wesentlich verschiedenen Wert, und zwar mit positivem Vorzeichen, was auf die Richtung nach oben deutet. Diese Richtung erhält sie nun gleich nach dem Beginn der Schwingungsbewegung auch in den anderen Fällen und behält sie während des ersten Viertels der Schwingungszeit bei; sie erreicht beim linken Bein nach 0,05 sec, beim rechten Bein im I. und III. Versuch etwas später und im II. Versuch gleich im Anfang einen Maximalwert von abgerundet 6 kg. Im zweiten und dritten Viertel der Schwingungszeit ist die vertikale Komponente der Effektivkraft des Oberschenkels nach unten gerichtet, nachdem sie an der Grenze des ersten und zweiten Viertels den Wert Null passiert hat; ihre Intensität nimmt dabei allmählich, links bis auf ungefähr 5 kg, rechts im I. und III. Versuch bis nahezu 7 kg, im II. Versuch sogar bis auf 19 kg zu, sofern man der letzteren Angabe überhaupt Gewicht beimessen kann. Dieses Maximum der Intensität der nach unten gerichteten Komponente tritt im Durchschnitt 0,26 sec nach dem Beginn der Schwingungsperiode ein. Nur kurze Zeit, etwa 0,05 sec, später hat sich die Intensität wieder auf Null verringert. Die vertikale Komponente nimmt von da an wieder die Richtung nach oben an und erreicht nach kurzer Zeit, ungefähr 0,35 sec nach dem Anfang der Schwingung abermals ein Maximum der Intensität, das im Durchschnitt etwa 6 kg beträgt, wenn man den beim II. Versuch für das rechte Bein eintretenden Maximalwert von über 50 kg dabei nicht mit

Digitized by Google

in Rücksicht zieht. Zuletzt nimmt die Intensität wieder ab und erreicht in den beiden ersten Versuchen bei beiden Beinen kurz vor dem Ende der Schwingungsperiode abermals den Wert Null, so daß die vertikale Komponente im Moment des Aufsetzens des Beins auf dem Fußboden nach unten gerichtet ist. Beim III. Versuch (mit Belastung) besitzt dagegen diese Komponente auch zuletzt noch die Richtung nach oben.

Vergleicht man die beiden Komponenten der Effektivkraft des Oberschenkels in ihrem Verhalten mit einander, so kann man sich leicht darüber Rechenschaft geben, welche Richtung die Effektivkraft selbst in den einzelnen Momenten besitzt, und in welcher Weise sich dieselbe im Verlaufe der Schwingungsbewegung verändert.

Zu Anfang der Periode des Schwingens hat die Effektivkraft des Oberschenkels ziemlich rein die Richtung nach vorn. Es tritt aber gleich nach dem Beginn insofern eine Änderung ein, als die Richtung sich nach oben, d. h. also von rechts gesehen umgekehrt wie der Uhrzeiger dreht und etwa schon 0,02 sec später einen Moment direkt vertikal nach oben zeigt. Die Richtung bleibt aber nicht vertikal, sondern ändert sich in demselben Sinne immer weiter, so daß sie nach oben und hinten und schließlich einen Moment direkt nach hinten zeigt. Dies findet an der Grenze des ersten und zweiten Viertels der ganzen Periode statt; denn zu dieser Zeit besitzt die vertikale Komponente den Wert Null. Von da an zeigt nun die Richtung der Effektivkraft nach hinten und unten; erst mehr nach hinten als nach unten, dann, entsprechend der Überkreuzungsstelle der beiden Diagramme auf Tafel I, ebenso sehr nach unten als nach hinten, endlich mehr nach unten als nach hinten. An der Grenze zwischen dem dritten und vierten Viertel der Periode des Schwingens zeigt sogar die Richtung direkt vertikal nach unten, wenn auch in einigen Fällen die Intensität der Effektivkraft in diesem Moment nur gering ist. Mit ebenfalls geringer Intensität dreht sich dann die Effektivkraft verhältnismäßig sehr schnell in dem umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger weiter, durchläuft abermals die Richtung nach vorn, und nimmt schließlich bis fast zuletzt eine Richtung an, die ungefähr ebensosehr nach oben als nach vorn zeigt. Von kleinen Abweichungen abgesehen dreht sich also die Richtung der Effektivkraft des Oberschenkels während der Periode des Schwingens mit

Digitized by Google

allerdings sehr veränderlicher Intensität etwas mehr als einmal herum, und zwar von der rechten Seite aus betrachtet umgekehrt wie der Uhrzeiger.

Die horizontale Komponente der Effektivkraft des Unterschenkels besitzt, wie man aus den Tabellen 1 bis 6 und Tafel I erkennt, zu Anfang die Richtung nach vorn mit einer Intensität von durchschnittlich 3 kg. Die Intensität vermindert sich darauf ziemlich gleichmäßig, bis sie an der Grenze des ersten und zweiten Drittels der Schwingungszeit den Wert Null angenommen hat. Von da an ist die horizontale Komponente nach hinten gerichtet und behält auch diese Richtung während der ganzen übrigen Zeit fast ausnahmslos bei. Nur etwa 0,05 sec vor dem Aufsetzen des Beins auf den Fußboden nimmt sie für einen Moment wieder die Richtung nach vorn an, besitzt aber dabei sehr geringe Intensität. Nachdem die Komponente zum ersten Mal die Richtung nach hinten erlangt hat, nimmt sie an Intensität allmählich zu, bis sie etwa an der Grenze zwischen dem dritten und letzten Viertel der Periode des Schwingens einen Maximalwert erreicht hat, der bei den beiden ersten Versuchen abgerundet 5 kg, beim III. Versuch dagegen nur zwischen 3 kg und 4 kg beträgt. Darauf verringert die nach hinten gerichtete Komponente ihre Intensität ziemlich rasch zu Null und nimmt, wie schon vorhin erwähnt wurde, für einen kurzen Moment von etwa 0,02 sec Dauer sogar die Richtung nach vorn an, ohne jedoch dabei große Intensität zu erreichen. Im weiteren Verlaufe der Schwingungsbewegung des Beins ist sie dann wieder nach hinten gerichtet, und zwar zunächst mit wachsender und zuletzt mit wieder abnehmender Intensität. Das letzte Maximum der Intensität beträgt im Durchschnitt nicht ganz 4 kg und liegt zeitlich nur etwa 0,02 sec von dem Ende der Periode entfernt. Im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden beträgt die Intensität der nach hinten gerichteten horizontalen Komponente zwischen 2 kg und 3 kg. Von dem eben geschilderten weicht nur das Verhalten des linken Beins beim III. Versuch insofern etwas ab, als bei diesem Versuch die horizontale Komponente der Effektivkraft des Unterschenkels im letzten Viertel der Schwingungsperiode nicht noch einmal die Richtung nach vorn erhält, sondern nur ein Minimum der Intensität bei gleichzeitiger Richtung nach hinten annimmt. Auch beträgt ihre Intensität im Moment des Aufsetzens nur abgerundet 1½ kg.

Die vertikale Komponente der Effektivkraft des Unterschenkels besitzt zu Anfang der Periode des Schwingens nur sehr geringe Intensität; dabei ist sie in den meisten Fällen nach oben gerichtet; nur beim III. Versuch zeigt das rechte Bein zu Anfang die Richtung nach unten mit allerdings nahezu verschwindender Intensität. Nach kurzer Zeit nimmt aber auch in den übrigen Fällen die vertikale Komponente die Richtung nach unten an und behält sie bis etwa zum Beginn des letzten Drittels der Schwingungszeit bei. Dabei steigt die Intensität erst langsam, dann etwas schneller an, bis sie im Anfange des zweiten Drittels der Periode ein ausgesprochenes Maximum erhält, welches jedoch in den meisten Fällen nicht ganz den Wert von 2 kg erreicht. Nach diesem Maximum sinkt die Intensität ziemlich schnell wieder auf einen geringen Wert herunter, nimmt aber dann wieder etwas zu, so daß ein zweites, weniger ausgesprochenes Intensitätsmaximum entsteht. Kurze Zeit darauf ändert die vertikale Komponente ihre Richtung; sie zieht nun wieder nach oben und erreicht dabei sehr bald den Maximalwert von 1 kg bis 2 kg. Dann nimmt die Intensität wieder bis Null ab, und die Komponente ändert nun abermals ihre Richtung, so daß sie im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden nach unten gerichtet ist, ohne jedoch im allgemeinen namhafte Intensität zu erlangen. Man erkennt hieraus, daß die vertikale Komponente der Effektivkraft des Unterschenkels sich während der ganzen Periode des Schwingens in sehr bescheidenen Grenzen hält, was damit zusammenhängt, daß die Bahn des Schwerpunktes des Unterschenkels während der Schwingungsbewegung des Beins von einer geraden, zum Fußboden parallelen Linie nicht allzusehr abweicht, wie man z. B. aus Tafel III des II. Teils ersieht.

Aus dem Verhalten der beiden Komponenten kann man nun wieder die Richtung der Effektivkraft des Unterschenkels und die Veränderung derselben im Verlaufe der Periode des Schwingens ableiten.

Da die horizontale Komponente es zu viel größeren Intensitäten bringt, als die vertikale, so ist erstere vor allen Dingen für die Richtung der Effektivkraft selbst maßgebend. Wir erhalten infolgedessen folgende Resultate.

Zu Anfang der Schwingungsbewegung des Beins ist die Effektivkraft des Unterschenkels ziemlich genau horizontal nach

Digitized by Google

vorn gerichtet. Sie weicht auch im ersten Viertel der Periode von dieser Richtung nur wenig nach unten ab, verringert aber dabei merklich ihre Intensität. Dann verändert sich die Richtung verhältnismäßig rasch im Sinne einer Drehung wie der Uhrzeiger (von der rechten Seite aus gesehen), so daß sie zu Beginn des zweiten Drittels der Periode schon vertikal nach unten und am Ende dieses Drittels horizontal nach hinten gerichtet ist. Von der letzteren Richtung weicht die Komponente im weiteren Verlauf auch nur wenig, und zwar erst nach oben, zuletzt dagegen nach unten ab. Dagegen schwankt dabei die Intensität ganz beträchtlich; sie hat zu Beginn des letzten Drittels verhältnismäßig großen Wert, sinkt aber sehr bald auf Null herab, um dann wieder auf nahezu die alte Höhe anzuwachsen. Genau genommen geht in dem Zwischenstadium die Komponente nicht nur bis auf Null herab, sondern sie überschreitet sogar die Null nach der anderen Seite hin; sie geht nämlich für eine kurze Zeit noch einmal in die Richtung nach vorn über, allerdings mit sehr geringer Intensität. Sieht man hiervon ab, so kann man also sagen, daß die Effektivkraft des Unterschenkels zu Anfang der Periode des Schwingens einige Zeit horizontal nach vorn und gegen das Ende derselben längere Zeit horizontal nach hinten gerichtet ist; in der Zwischenzeit dreht sie sich von der rechten Seite aus gesehen in der Richtung des Uhrzeigers aus der Anfangsstellung in die Endstellung, führt also dabei eine halbe Umdrehung aus.

Die horizontale Komponente der Effektivkraft des Fußes verhält sich ähnlich wie die horizontale Komponente der Effektivkraft des Unterschenkels. Sie besitzt zuerst die Richtung nach vorn und eine Intensität von 3 kg bis 4 kg. Trotzdem die Masse des Fußes etwa nur den dritten Teil der Masse des Unterschenkels beträgt, ist doch diese Komponente der Effektivkraft beim Fuß nicht nur im Anfang, sondern auch sonst im Durchschnitt nicht kleiner, eher etwas größer, als beim Unterschenkel. Dies rührt daher, daß der Schwerpunkt des Fußes während der Periode des Schwingens in horizontaler Richtung viel größere Beschleunigungen erfährt als der Schwerpunkt des Unterschenkels. Während der ersten Hälfte der Periode des Schwingens behält die horizontale Komponente die Richtung nach vorn bei, dagegen ist sie während der zweiten Hälfte dieser Periode fast bis zu Ende nach hinten gerichtet. Nur ganz zuletzt, etwa 0,02 sec vor

Digitized by Google

dem Aufsetzen des Beins auf den Fußboden nimmt sie noch einmal die Richtung nach vorn an. Wie für die Effektivkraft des Unterschenkels, so zeigt auch hier das linke Bein im III. Versuch eine kleine Abweichung, indem bei ihm die horizontale Komponente der Effektivkraft des Fußes zuletzt nicht noch einmal ihre Richtung ändert. Die in der ersten Hälfte der Periode nach vorn gerichtete Komponente nimmt nun allmählich an Intensität ab, bis sie am Anfang des zweiten Viertels auf 1 kg herabgesunken ist. Diesen Wert behält sie dann, von geringen Schwankungen nach oben und unten abgesehen, während des zweiten Viertels fast unverändert bei; nur zuletzt verringert sie sich und nimmt schließlich den Wert Null an. In der nun folgenden zweiten Hälfte der ganzen Periode des Schwingens, in welcher die Komponente fast bis zuletzt die Richtung nach unten besitzt, nimmt ihre Intensität erst langsamer dann schneller zu, bis sie einen Maximalwert von durchschnittlich über 5 kg erreicht hat; dies geschieht etwa an der Grenze zwischen dem siebenten und letzten Achtel der ganzen Schwingungszeit. Darauf vermindert sich die Intensität ziemlich rasch zu Null, so daß im allgemeinen die Komponente, wie schon erwähnt wurde, vor dem Aufsetzen nochmals die Richtung nach oben annimmt, ohne jedoch dabei in allen Fällen beträchtliche Werte zu erreichen.

Die vertikale Komponente der Effektivkraft des Fußes zeigt ein wesentlich anderes Verhalten wie die entsprechende Komponente der Effektivkraft des Unterschenkels. Sie besitzt nicht nur fast durchweg größere Intensität, sondern auch in vielen Momenten andere Richtung als diese. Dagegen kann man sich leicht davon überzeugen, daß die Effektivkraft des Fußes in vertikaler Richtung, abgesehen von der geringeren Intensität, im großen Ganzen das entgegengesetzte Verhalten zeigt als die Effektivkraft des Oberschenkels. Ihre vertikale Komponente ist im Anfang der Schwingung Null. Dann nimmt sie sofort die Richtung nach unten an, die sie bis zum Beginn des zweiten Drittels der Schwingungsperiode beibehält, also etwas länger als die vertikale Komponente der Effektivkraft des Oberschenkels ihre anfängliche Richtung nach oben. Dabei erreicht sie schon ziemlich früh, etwa 0,04 sec nach dem Anfang einen Maximalwert von etwas über 2 kg. Bis zum Beginn des letzten Viertels der Schwingungszeit ist die vertikale Komponente der Effektivkraft des Fußes nach oben gerichtet, nach-

dem sie im Anfang des zweiten Drittels den Wert Null passiert hat; ihre Intensität nimmt dabei allmählich bis auf 2 kg zu. Dieses Maximum der Intensität der nach oben gerichteten Komponente tritt im Durchschnitt 0,28 sec nach dem Beginn der Schwingungsperiode ein. Nur kurze Zeit, etwa 0,04 sec später hat sich die Intensität wieder auf Null verringert. Die vertikale Komponente nimmt von da an wieder die Richtung nach unten an und erreicht nach kurzer Zeit, ungefähr 0,35 sec nach dem Anfang der Schwingung, abermals ein Maximum der Intensität, das im Durchschnitt nahezu 4 kg beträgt. Zuletzt nimmt die Intensität wieder ab und erreicht im Moment des Aufsetzens, oder doch wenigstens ganz kurz vorher, den Wert Null.

Ein Vergleich der beiden Komponenten der Effektivkraft des Fußes ergibt folgende Resultate in betreff der Richtung der letzteren.

Im Anfang ist die Effektivkraft des Fußes genau horizontal nach vorn gerichtet. Darauf dreht sie sich von rechts gesehen im Sinne des Urzeigers bis sie etwa den Winkel zwischen der nach vorn gerichteten Horizontalen und der nach unten gerichteten Vertikalen halbiert. Dann dreht sie sich wieder zurück, also nunmehr im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers, über die horizontale Richtung nach vorn, die vertikale Richtung nach oben, die horizontale Richtung nach hinten und die vertikale Richtung nach unten hinweg. bis sie zuletzt wieder die horizontale Richtung nach vorn erreicht hat. Allerdings ist diese Richtungsänderung auch von sehr merklichen Intensitätsschwankungen begleitet. So ist z. B. die Intensität sehr gering, während die Komponente sich aus der Richtung nach vorn in die nach oben dreht, dagegen wird sie verhältnismäßig groß in der Nähe der Richtung nach hinten, während sie sich aus dieser weiter nach unten dreht. Endlich ist die Intensität im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden wieder sehr gering, so daß es nicht viel ausmacht, wenn beim III. Versuch die Effektivkraft des linken Fußes ausnahmsweise nach hinten gerichtet ist. Abgesehen von dieser und anderen geringen Abweichungen kann man daher sagen, daß die Effektivkraft des Fußes sich in der Periode des Schwingens zunächst aus der Richtung nach vorn etwa um 45° im Sinne des Uhrzeigers dreht, dann aber in entgegengesetztem Sinne wie der Uhrzeiger etwas über eine volle Umdrehung ausführt.

Die horizontale Komponente der Effektivkraft des

Digitized by Google

ganzen Beins verhält sich auch ähnlich wie die horizontale Komponente der Effektivkraft des Unterschenkels, nur daß bei ihr die Intensität im allgemeinen noch größer ist als bei den Effektivkräften des Unterschenkels und Fußes. Zu Anfang der Schwingungsbewegung ist die horizontale Komponente nach vorn gerichtet und besitzt dabei eine Intensität von durchschnittlich 8 kg. Die Intensität nimmt nun ziemlich schnell, aber dabei gleichmäßig, ab, so daß sie schon vor dem Ende des ersten Viertels der Schwingungsperiode zu Null geworden ist. Nun ändert sich die Richtung. Die horizontale Komponente zieht nach hinten und vergrößert dabei allmählich wieder ihre Intensität, bis sie ungefähr an der Grenze des zweiten und letzten Drittels der Periode einen Maximalwert von im Durchschnitt etwas über 6 kg erreicht hat. Dann nimmt die Intensität wieder ab und erreicht in den meisten Fällen in der ersten Hälfte des letzten Viertels der Schwingungsperiode abermals den Wert Null. Die Komponente nimmt darauf nochmals für kurze Zeit die Richtung nach vorn an, erreicht dabei in einigen Fällen einen Maximalwert von 3 kg, in anderen sogar einen solchen von 4 kg und 5 kg, wird aber schnell wieder kleiner, so daß sie in der zweiten Hälfte des letzten Viertels der Periode, oder doch wenigstens kurz nach derselben, wieder auf den Wert Null herabgesunken ist. In dem nun noch folgenden Teile der Schwingungsbewegung ist die horizontale Komponente wieder nach hinten gerichtet; ihre Intensität nimmt dabei in einigen Fällen stetig zu, in anderen nimmt sie erst zu, dann wieder etwas ab und zuletzt wieder zu, so daß sie auch hier wenigstens im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden einen verhältnismäßig großen Wert, von 5 kg und darüber hinaus bis zu 10 kg, besitzt. Eine Ausnahme von diesem Verhalten zeigt nur die Effektivkraft des rechten Beins beim I. Versuch, indem dieselbe zuletzt nur wenig von Null verschieden ist. Außerdem ist in diesem Falle das vorhergehende Stadium, in welchem die Komponente nach vorn gerichtet ist, nur sehr kurz und die zugehörige Intensität sehr gering. Beim III. Versuch nimmt die Effektivkraft des rechten Beins außer im ersten Viertel der Periode überhaupt nicht noch einmal die Richtung nach vorn an, sondern die nach hinten gerichtete Komponente geht nur in der Mitte des letzten Viertels der Periode für kurze Zeit nahezu auf Null zurück. Abgesehen von diesen kleinen Unregelmäßigkeiten

Digitized by Google

zeigt aber die horizontale Komponente der Effektivkraft, ebenso wie die gleich zu besprechende vertikale Komponente, in allen Fällen im wesentlichen das gleiche Verhalten. Beachtet man, wieviel Faktoren bei der Ableitung der Tabelle für die Effektivkraft des ganzen Beins mitgewirkt haben, so ist dieses Resultat sehr bemerkenswert.

Die vertikale Komponente der Effektivkraft des ganzen Beins verhält sich im wesentlichen wie die vertikale Komponente der Effektivkraft des Oberschenkels. Dieselbe ist im Anfang nur wenig von Null verschieden. Abgesehen von einigen Abweichungen nimmt sie dann nach kurzer Zeit die Richtung nach oben an und erreicht in den meisten Fällen schon etwa in der Mitte des ersten Viertels der Schwingungsperiode, oder doch wenigstens kurz darauf einen Maximalwert von abgerundet 4 kg. Dann verringert sich die Intensität, bis sie am Ende des ersten Viertels schon zu Null geworden ist. Von nun an ist die Komponente nach unten gerichtet. Sie nimmt dabei zunächst ziemlich schnell an Intensität zu, bis sie einen Wert von nicht ganz 5 kg erreicht hat. Auf dieser Höhe hält sie sich dann mit einigen Schwankungen nach oben und unten längere Zeit, etwa bis zum Ende des zweiten Drittels der Periode. Darauf nimmt ihre Intensität wieder ab, bis sie zu Anfang des letzten Viertels auf den Wert Null herabgesunken ist. Nun tritt wieder Richtungswechsel ein. Die vertikale Komponente nimmt abermals die Richtung nach oben an und behält nun dieselbe bis fast zum Ende der Schwingungsbewegung bei; sie erreicht dabei Intensitäten zwischen 3 kg und 5 kg. In einigen Fällen tritt zuletzt noch einmal Richtung nach unten ein. Infolge des abnormen Verhaltens des rechten Oberschenkels beim II. Versuch zeigt auch die vertikale Komponente der Effektivkraft des rechten Beins beim II. Versuch außergewöhnliche Intensitäten und ein etwas abweichendes Verhalten ganz zu Anfang und ganz zuletzt. Diese extremen Werte sind bei den Durchschnittsangaben der Intensitäten nicht mit in Rechnung gezogen worden. Im übrigen hat man aber auch hier denselben Wechsel der Richtungen, welcher auch zu annähernd denselben Zeiten eintritt, wie in den anderen Fällen.

Für das Verhalten der ganzen Effektivkraft des Beins erhält man aus der Vergleichung der Tabellen oder der Diagramme für die beiden Komponenten folgende Resultate.

Digitized by Google

Zu Anfang der Periode des Schwingens ist die Effektivkraft des ganzen Beins ziemlich genau horizontal nach vorn gerichtet. Dann dreht sie sich, von der rechten Seite aus gesehen, im umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger, in einigen Fällen bis zur vertikalen Richtung nach oben und auch noch darüber hinaus, in anderen Fällen nicht ganz bis zur Vertikalen. Darauf nimmt sie ziemlich unvermittelt die Richtung nach hinten und unten an, nachdem sich vorher ihre Intensität für kurze Zeit fast auf Null verringert hatte. Dies geschieht an der Grenze zwischen dem ersten und zweiten Viertel der Periode. Die Richtung nach hinten und unten behält sie nun längere Zeit, etwa während des zweiten Viertels, mit wachsender Intensität annähernd bei; genau genommen nähert sie sich erst etwas der nach unten gerichteten Vertikalen und kehrt dann wieder in ihre Mittelstellung zurück. Während des dritten Viertels der Periode des Schwingens dreht sich dann die Effektivkraft des Beins im Sinne des Uhrzeigers bis zu der horizontalen Richtung nach hinten zurück. Für das letzte Viertel der Schwingungsbewegung läßt sich kein ganz gleichmäßig in den sechs untersuchten Fällen wiederkehrendes Verhalten nachweisen. Im großen Ganzen dreht sich die Effektivkraft des Beins in diesem Zeitraum aus der zuletzt eingeschlagenen Richtung nach hinten über die Richtung nach oben hinweg zu der Richtung nach oben und vorn und kehrt dann wieder zurück entweder bis zur horizontalen Richtung nach hinten, oder nur bis zur Richtung nach oben und hinten, oder aber über die horizontale Richtung hinaus bis zur Richtung nach hinten und unten.

Die horizontale Komponente der Effektivkraft des aus Unterschenkel und Fuß zusammengesetzten Abschnittes des Beins zeigt ein sehr einfaches Verhalten. Bis nahezu in die zeitliche Mitte der Periode des Schwingens besitzt sie die Richtung nach vorn, und von da an bis zum Aufsetzen des Beins auf den Fußboden die Richtung nach hinten. Zu Beginn der Schwingung ist die nach vorn gerichtete Komponente am größten: sie besitzt eine Intensität von abgerundet 6 kg. Dann sinkt die Intensität ziemlich gleichmäßig bis auf etwa 1 kg herunter und behält diesen Wert einige Zeit nahezu unverändert bei, bevor sie ganz zu Null wird. Nach dem Wechsel der Richtung nimmt die Intensität der nunmehr nach hinten gerichteten Komponente

Digitized by Google

wiederum ziemlich gleichmäßig bis zu einem Maximalwert von 7 kg bis 8 kg zu, verringert sich darauf, nimmt wieder zu, bis sie ein neues, teils größeres, teils geringeres Maximum erreicht hat, und nimmt endlich bis zum Ende der Periode des Schwingens wieder ab, ohne jedoch den Wert Null zu erreichen. Die Intensität beträgt im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden immer noch zwischen 1 kg und 2 kg, beim Versuch mit Belastung sogar noch etwas mehr als 2 kg.

Die vertikale Komponente der Effektivkraft des aus Unterschenkel und Fuß zusammengesetzten Abschnittes des Beins zeigt auch in allen sechs Fällen übereinstimmend ein ziemlich einfaches Verhalten. Zu Anfang der Schwingung besitzt sie bei allen Versuchen einen nur wenig von Null verschiedenen Wert und ist dabei nach oben gerichtet. Nach Ablauf von weniger als 0,01 sec ist sie jedoch schon zu Null geworden und hat die Richtung gewechselt. Die Intensität der nunmehr nach unten gerichteten Komponente nimmt rasch bis zu einem Maximalwert von 2 kg bis 3 kg zu, verringert sich dann wieder etwas und behält dann längere Zeit einen geringeren Wert von 1 kg bis 2 kg nahezu unverändert bei. Gegen Ende des zweiten Viertels der Periode des Schwingens nimmt ihre Intensität dann noch weiter ab, bis sie ungefähr am Anfang des dritten Viertels zu Null geworden ist. Von nun an zieht die Komponente nach oben, erlangt aber zunächst dabei noch keine namhafte Größe; erst gegen das Ende des dritten Viertels wächst die Intensität auf nahezu 3 kg, um aber sehr bald wieder auf Null herabzusinken. Darauf tritt abermals Richtungswechsel ein. Die Intensität der nun nach unten gerichteten Komponente nimmt schnell zu, so daß sie in der Mitte des letzten Viertels einen Maximalwert von durchschnittlich über 3 kg erreicht hat. Endlich verringert sich die Intensität wieder und erreicht fast genau im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden den Wert Null.

Demnach ergibt sich folgendes Verhalten für die Effektivkraft des aus Unterschenkel und Fuß zusammengesetzten Systems selbst.

Zu Anfang ist sie, wie alle anderen bisher in Betracht gezogenen Effektivkräfte, ziemlich genau horizontal nach vorn gerichtet. Dann dreht sie sich mit abnehmender Intensität von rechts gesehen wie der Uhrzeiger, bis sie etwa den Winkel zwischen der Richtung nach vorn und der Richtung nach unten halbiert.

Digitized by Google

In dieser Stellung verbleibt sie, von einigen Schwankungen im einen oder anderen Sinne abgesehen, längere Zeit, bis sie schließlich in der zeitlichen Mitte der Periode des Schwingens ganz verschwindet. Im nächsten Moment taucht sie mit zunächst sehr geringer, aber sich allmählich vergrößernder Intensität in einer Richtung auf, welche der bisherigen Richtung ziemlich genau entgegengesetzt ist. Sie zieht also jetzt nach hinten und oben, allerdings mehr nach hinten als nach oben. Zu Anfang des letzten Viertels der Periode dreht sie sich dann umgekehrt wie der Uhrzeiger bis zur horizontalen Richtung nach hinten und darüber hinaus, bis sie etwa den Winkel zwischen den Richtungen nach hinten und unten halbiert. Endlich dreht sie sich wieder zurück, also im Sinne des Uhrzeigers, bis sie im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden wieder gerade die horizontale Richtung nach hinten erreicht hat.

Digitized by Google

II. Über den Einfluß der Bewegung auf den Gelenkdruck.

Abgesehen davon, daß die Kenntnis der Effektivkräfte für die Berechnung der Drehungsmomente der inneren Kräfte notwendig ist, gewährt dieselbe auch einen Einblick in die durch die Bewegung des Beins hervorgerufene Änderung des Druckes in den Gelenken.

Der Druck in einem Gelenk stellt sich nach den früheren Erörterungen im V. Teil der Untersuchung als die Resultante einer ganzen Reihe von Druckkräften dar, die man in zwei Gruppen einteilen kann. Die Druckkräfte der einen Gruppe werden durch die an den Körperteilen angreifenden Kräfte hervorgerufen und sind auch vorhanden, wenn die Körperteile durch diese Kräfte gar nicht in Bewegung gesetzt werden; man kann sie daher „statische Druckkräfte“ nennen. Die Druckkräfte der anderen Gruppe hängen dagegen nur von der Bewegung der Körperteile ab und treten daher erst bei dieser auf; es empfiehlt sich, dieselben zum Unterschied von den statischen als „kinetische Druckkräfte“ zu bezeichnen. Diese kinetischen Druckkräfte haben nun zur Resultante gerade die Effektivkräfte.

Betrachtet man z. B. die Druckverhältnisse im Hüftgelenk während der Periode des Schwingens, so ergibt sich nach den Auseinandersetzungen auf Seite 349 des V. Teils, daß im Hüftgelenk auf den Oberschenkel ein Druck ausgeübt wird, dessen statische Komponenten zunächst dem Gewicht des ganzen Beins und dann den Spannungen der an irgend einem Abschnitte des Beins ansetzenden, aber über das Hüftgelenk hinwegziehenden Muskeln entgegengesetzt gleich sind. Die kinetischen Druckkräfte sind dagegen in ihrer Gesamtwirkung der Effektivkraft des ganzen Beins direkt gleich. Auf das Becken werden nun rückwärts nach dem Gesetz der Gleichheit von Aktion und Reaktion zwar die gleichen Druckkomponenten, aber genau in entgegengesetzter Richtung ausgeübt. Diese beiden einander gegenüberstehenden Reihen von Druckkomponenten, von denen

Digitized by Google

die einen auf den Oberschenkel, die anderen auf das Becken einwirken, machen den Hauptbestandteil des Gelenkdruckes aus. Zu ihnen gesellt sich noch bei den Gelenken mit hermetisch nach außen durch die Kapsel abgeschlossener Gelenkhöhle der Luftdruck hinzu; derselbe konnte bei der Aufstellung der Bewegungsgleichungen im V. Teil außer Betracht gelassen werden, da seine bewegende Wirkung auf den Körperteil immer durch die im Gelenk verursachte Reaktion wieder ausgeglichen wird.

Es muß nun bei einer eingehenden Untersuchung des Gelenkdruckes noch entschieden werden, an welcher Stelle die beiden einander berührenden Gelenkflächen durch die einzelnen Komponenten des Gelenkdruckes vor allen Dingen zusammengepreßt werden. Um dies zu entscheiden, braucht man nur vom Mittelpunkt des Femurkopfes aus einen Radius in entgegengesetzter Richtung zu ziehen, als in welcher die betreffende Druckkraft auf den Oberschenkel einwirkt. Trifft dieser Radius auf die beiden sich berührenden Gelenkflächen, so werden an dieser Stelle die letzteren hauptsächlich durch die in Frage stehende Druckkomponente zusammengepreßt. Infolge der Deformierbarkeit des Gelenkknorpels wird dieser Druck natürlich nicht auf einen einzigen Punkt lokalisiert sein. Verläuft der Radius dagegen in einer Richtung, in der sich die Gelenkflächen überhaupt nicht vorfinden, so wird die Druckkomponente einen Zug auf irgend welche Gelenkbänder ausüben, und sie sucht jetzt die in der Rückwärtsverlängerung des betreffenden Radius befindlichen Stellen der beiden Gelenkflächen auseinanderzuziehen.

Durch die Schwere wird beispielsweise eine Druckkomponente verursacht, welche gleich dem Gewicht des ganzen Beins ist und am Becken vertikal nach unten, am Oberschenkel dagegen vertikal nach oben zieht. Der vom Mittelpunkt des Femurkopfes zu ziehende Radius muß also die Richtung vertikal nach unten besitzen. Es ist leicht ersichtlich, daß derselbe nur bei extremen Stellungen des am Becken hängenden Beins noch Teile der Gelenkflächen trifft, dagegen im allgemeinen durch den Hals des Femur hindurchzieht. Die Schwere allein würde daher die vertikal über dem Mittelpunkt des Femurkopfes befindlichen Stellen der beiden Gelenkflächen von einander entfernen und einen Zug auf die in der betreffenden Gelenkstellung hierdurch angespannten Gelenkbänder oder nach unten gehenden Fasern der Gelenkkapsel ausüben,

wenn nicht andere Druckkomponenten vorhanden wären, welche die entgegengesetzte Wirkung hervorbringen. Eine solche Druckkomponente wird aber z. B. durch den Luftdruck verursacht. Wie die Schwere an dem Bein selbst nach unten zieht, dagegen im Hüftgelenk eine nach oben gerichtete Druckkomponente für den Oberschenkel hervorruft, so drückt umgekehrt der Luftdruck das Bein nach oben in die Gelenkhöhle herein und verursacht dadurch eine nach unten gerichtete Reaktionswirkung auf den Oberschenkel, welche die von ihm stammende Druckkomponente für den Oberschenkel darstellt. Der Radius vom Mittelpunkt des Femurkopfes aus ist also in diesem Falle nach oben, genauer nach oben und medianwärts zu ziehen; derselbe trifft daher in jeder Stellung des am Becken hängenden Beins auf Punkte der beiden Gelenkflächen, und der Luftdruck sucht daher die Flächen an dieser Stelle vor allen Dingen zusammenzudrücken.

Nachdem man sich an diesen beiden, leicht zu kontrollierenden Beispielen die Wirkung auf die Gelenkflächen klar gemacht hat, wird es nicht schwer sein, aus den obigen Angaben über das Verhalten der Effektivkraft des ganzen Beins abzuleiten, in welcher Weise die kinetische Druckkomponente auf die Gelenkflächen des Hüftgelenks einwirkt.

Da die Effektivkraft des ganzen Beins zu Anfang der Periode des Schwingens horizontal nach vorn gerichtet ist, so werden durch dieselbe, d. h. also infolge der Bewegung, die Gelenkflächen des Hüftgelenks im Beginn der Schwingung vor allen Dingen an Stellen aufeinander gepreßt, welche bei der Anfangsstellung des Oberschenkels horizontal hinter dem Gelenkmittelpunkt liegen. Wenn dann einige Zeit später dieselbe Effektivkraft längere Zeit nach hinten und unten gerichtet ist, so werden infolgedessen die Gelenkflächen im Hüftgelenk vor allen Dingen vorn oben zusammengepreßt. Da der Oberschenkel dabei sich immer weiter nach vorn dreht, so werden immer andere und andere Stellen des Gelenküberzuges des Femurkopfes in Anspruch genommen, während das beim Becken nicht der Fall ist, wenn es während dieser Zeit seine Stellung im Raum nicht wesentlich ändert. Diese wenigen Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, wie man durch die Kenntnis von Größe und Richtung der Effektivkraft des ganzen Beins einen Einblick in den aus der Bewegung allein herrührenden Gelenkdruck gewinnt.

Digitized by Google

Einige Komponenten des Gelenkdrucks, welche unter Umständen fast alle anderen an Größe übertreffen werden, lassen sich vorläufig noch nicht genau in ihrer Größe, sondern nur in ihrer Richtung feststellen. Es sind das die von der Kontraktion der Muskeln herrührenden Anteile am Gelenkdruck. Um die Stellen aufzufinden, an welchen durch die isolierte Kontraktion eines über das Hüftgelenk hinwegziehenden Muskels die Gelenkflächen hauptsächlich zusammengepreßt werden, hat man nur den Radius vom Mittelpunkt des Femurkopfes aus in einer Richtung zu ziehen, welche derjenigen Strecke des resultierenden Muskelzuges entspricht, die sich ungehindert geradlinig vom Ansatz des Muskels am Oberschenkel oder von einem Knochenvorsprung des Oberschenkels aus nach dem Ursprung des Muskels oder einem Knochenvorsprung am Becken hinüberzieht.

In ganz entsprechender Weise wie für das Hüftgelenk läßt sich der Gelenkdruck im Kniegelenk während der Periode des Schwingens ableiten. Nur kommt hier für die von der Schwere verursachte statische Druckkomponente allein das Gewicht des Unterschenkels mit dem Fuß, und für die kinetische Druckkraft allein die Effektivkraft des aus Unterschenkel und Fuß zusammengesetzten Abschnittes des Beins in Betracht. Auch sind hierbei nur die Muskeln zu berücksichtigen, welche über das Kniegelenk hinwegziehen.

Für den Gelenkdruck im oberen Sprunggelenk kommen endlich nur das Gewicht des Fußes, die Effektivkraft des Fußes und die über das Sprunggelenk hinwegziehenden Muskeln in Frage.

Da sowohl die Effektivkraft des Systems Unterschenkel mit Fuß, als auch die Effektivkraft des Fußes allein nach Größe und Richtung während der ganzen Periode des Schwingens festgestellt worden ist, so hat man also alle Mittel, um die einzelnen Komponenten des Gelenkdrucks im Kniegelenk sowohl wie im oberen Sprunggelenk bis auf die Größe der von den Muskeln herrührenden statischen Druckkomponenten für jeden Moment der Schwingungsbewegung nach Größe und Richtung anzugeben.

III. Die von der Schwere ausgeübten Drehungsmomente.

Die Berechnung der Drehungsmomente der Schwere erfordert zunächst die Kenntnis der Längen des Oberschenkels und der Abstände der Schwerpunkte der drei Abschnitte des Beins von den Mittelpunkten ihrer proximalen Gelenke. Als Länge des Oberschenkels ist dabei die gegenseitige Entfernung der Mittelpunkte des Hüft- und Kniegelenks, und als Länge des Unterschenkels die gegenseitige Entfernung der Mittelpunkte des Knie- und oberen Sprunggelenks eines Beins verstanden. Da die Koordinaten dieser Gelenkmittelpunkte für alle 31 durch die Momentphotographie herausgegriffenen Bewegungsphasen bei allen drei Versuchen abgeleitet worden sind (vgl. die Tabellen 10, 11 und 12 auf den Seiten 258 bis 263 des I. Teils), so kann man die Längen des Ober- und Unterschenkels unseres Versuchsindividuums mit Hilfe einer bekannten einfachen Formel aus der analytischen Geometrie des Raumes berechnen. Die Rechnung ist von mir für alle Bewegungsphasen der ersten beiden Versuche ausgeführt worden, um möglichst genaue Werte zu erhalten. Es hat sich dabei herausgestellt, daß die aus allen 31 Berechnungen gewonnenen Durchschnittswerte sowohl für den Oberschenkel als auch für den Unterschenkel derselben Seite bei beiden Versuchen bis auf Bruchteile von Millimetern mit einander übereinstimmen. Dagegen weichen sowohl die Längen der Oberschenkel als auch die der Unterschenkel beider Seiten um mehr als 2 cm von einander ab. Dies ist auch nicht zu verwundern, wenn man bedenkt, wie schwer es ist, die Mittelpunkte der Hüft- und Kniegelenke genau nach außen auf die Oberfläche des Körpers zu projizieren, wie es für die Anbringung der bei den Versuchen verwendeten Geißlerschen Röhren erforderlich war. Davon abgesehen zeigen aber nach früheren

Digitized by Google

Messungen von uns die Längen der größeren Gliedmaßen im allgemeinen so wie so Unterschiede von 1 cm und mehr, so daß die Ungenauigkeiten in den Längen des Oberschenkels und Unterschenkels voraussichtlich nur bis zu 1 cm betragen werden. Selbst wenn dieselben noch größer anzuschlagen sind, so werden doch die Angaben über die Richtungen und die im Verlaufe eines Doppelschrittes auftretenden Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen der einzelnen Längsachsen und über die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Schwerpunkte hierdurch wenig berührt, wie ja unzweifelhaft auch aus der großen Übereinstimmung aller bisher gewonnenen Resultate der einen Körperseite mit denen der anderen hervorgeht.

Da man kein Mittel hat, am Lebenden die sicher auch vorhandenen Unterschiede in den Massen symmetrisch gelegener Körperteile genau festzustellen, sondern die an Leichen gefundenen Resultate unter Annahme vollkommener Symmetrie auf den Lebenden entsprechend seiner durch die Wage zu bestimmenden Gesamtmasse proportional übertragen muß, so sollen auch für die weitere Untersuchung die Längen symmetrischer Körperteile gleich groß genommen werden. Das Mittel aus den Messungen für die rechte und linke Körperseite ergibt als Länge des Oberschenkels unseres Versuchsindividuums 38,8 cm und als Länge seines Unterschenkels 37,7 cm.

Nach früheren Messungen über die Lage des Schwerpunktes der einzelnen Körperteile[1]) liegt der Schwerpunkt des Oberschenkels so auf der Verbindungslinie der Mittelpunkte des Hüft- und Kniegelenks, daß er dieselbe im Verhältnis 0,44 : 0,56 teilt. Der Schwerpunkt des Unterschenkels teilt dagegen die Verbindungslinie der Mittelpunkte des Knie- und oberen Sprunggelenks im Verhältnis 0,42 : 0,58. Demnach betrug die Entfernung des Schwerpunktes des Oberschenkels von dem Mittelpunkt des Hüftgelenks bei unserem Individuum 38,8 cm · 0,44 oder 17,1 cm, und die Entfernung seines Unterschenkelschwerpunktes von der Knieachse 37,7 cm · 0,42 oder 15,8 cm. Die Entfernung des Schwerpunktes des Fußes von der Achse des oberen Sprunggelenks konnte direkt aus den im I. Teil angegebenen Koordinaten des Mittelpunktes des

1) Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften Band XV Nr. VII. 1889. Seite 622.

Digitized by Google

Fußgelenks und des Schwerpunktes des Fußes berechnet werden. Die Rechnung ergab als Durchschnittswert 6,8 cm.

Endlich ist noch für den Oberschenkel wie für den Unterschenkel die Lage des Angriffspunktes der zweiten Kraft des von der Schwere verursachten Kräftepaares festzustellen.

Beim rechten Oberschenkel ist dieser auf der Längsachse desselben liegende Punkt in der umstehenden Figur 2, wie schon früher in Figur 3 auf Seite 352 des V. Teils, mit H_2' bezeichnet worden; seine Entfernung vom Mittelpunkt H des Hüftgelenks sei c_2'. Der Punkt H_2' teilt nach den früheren Auseinandersetzungen die zwischen dem Schwerpunkt S_2 des Oberschenkels und dem Mittelpunkt K des Kniegelenks liegende Strecke der Längsachse des Oberschenkels im umgekehrten Verhältnis der Massen m_2 des Oberschenkels und $m_{4,6}$ des aus Unterschenkel und Fuß zusammengesetzten Abschnittes des Beins. Bezeichnet man mit l_2 die Länge des Oberschenkels, d. h. also die Strecke $\overline{HK}$ in Figur 2, und mit r_2 die Entfernung des Oberschenkelschwerpunktes vom Mittelpunkte des Hüftgelenks, also die Strecke $\overline{HS_2}$, so hat man zur Berechnung der Strecke $\overline{HH_2'}$ oder c_2' die Proportion

$$(c_2' - r_2) : (l_2 - c_2') = m_{4,6} : m_2.$$

Die Masse $m_{4,6}$ kann man hierbei auch durch die Summe der Massen m_4 und m_6 des Unterschenkels und Fußes ersetzen; demnach erhält man schließlich zur Berechnung von c_2' die Formel

$$c_2' = \frac{m_2 r_2 + (m_4 + m_6) l_2}{m_2 + m_4 + m_6}. \qquad (1)$$

Nach dem Obigen ist $m_2 = 0{,}00693$; $m_4 = 0{,}00315$; $m_6 = 0{,}00107$; $r_2 = 17{,}1$ cm und $l_2 = 38{,}8$ cm. Setzt man diese Werte ein, so erhält man für c_2' den Wert von 25,3 cm. Der gleiche Wert ist für die entsprechende Strecke c_2' des linken Oberschenkels anzunehmen.

Der kürzeste Abstand der beiden in H und H_2' angreifenden Kräfte $-G_{2,4,6}$ und $+G_{2,4,6}$ des Kräftepaares der Schwere, welche dem Gesamtgewicht des ganzen Beins gleich sind, läßt sich nun mit Hilfe der Strecke c_2' und des Richtungswinkels φ_2 des Oberschenkels leicht berechnen; er ist $c_2' \cdot \sin \varphi_2$. Dabei ist zu beachten, daß der Winkel φ_2, welchen die Längsachsen des Oberschenkels mit der nach unten gerichteten Vertikalen durch H bildet, nach

Digitized by Google

den früheren Festsetzungen positiv zu rechnen ist, wenn der Mittelpunkt des Kniegelenks weiter vorn liegt als der Mittelpunkt des Hüftgelenks, so wie es beispielsweise in der durch Figur 2 veranschaulichten Stellung der Fall ist. Dieser Festsetzung entsprechend ist das Drehungsmoment D_2, mit welchem die Schwere

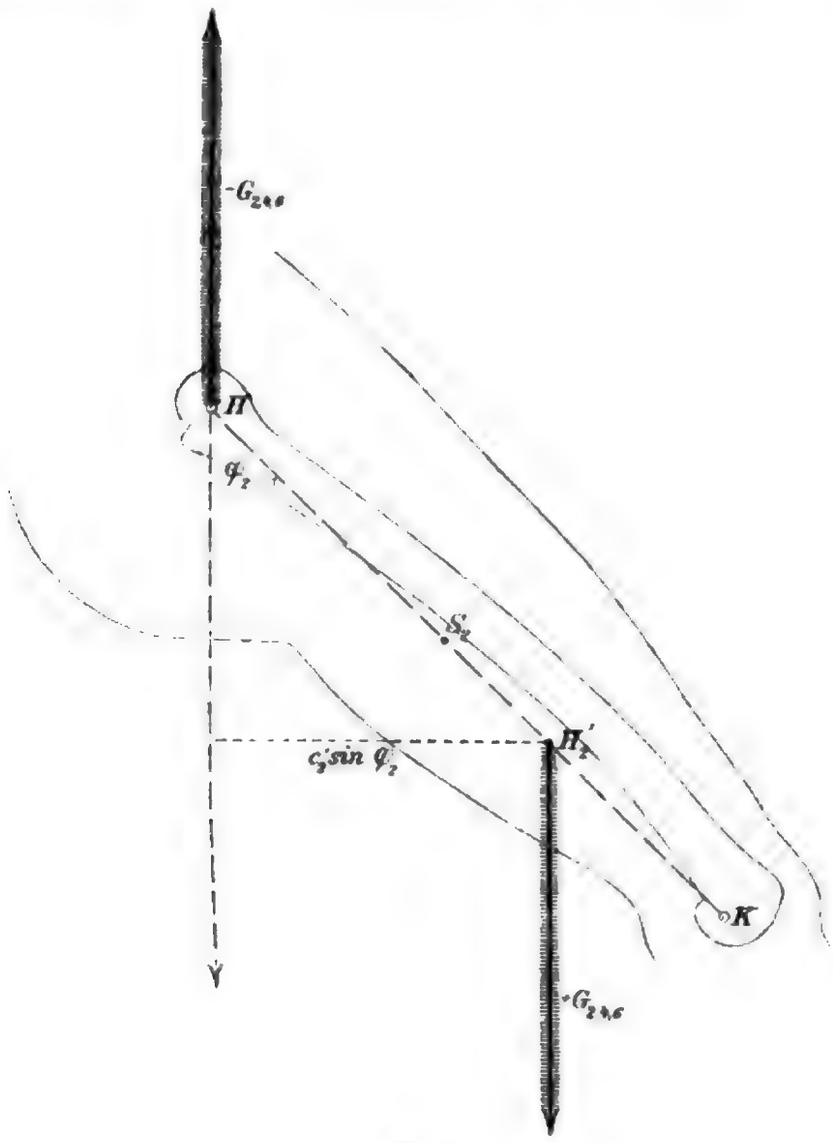


Fig. 2.

auf den Oberschenkel einwirkt, dann positiv zu nehmen, wenn das Kräftepaar der Schwere den Winkel φ_2 zu vergrößern, d. h. also den Oberschenkel von der rechten Seite aus betrachtet, im umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger zu drehen sucht. Dies trifft aber, wie man leicht aus Figur 2 erkennt, für ein positives φ_2 nicht zu. Vielmehr sucht das Kräftepaar in diesem Falle den Oberschenkel im Sinne des Uhrzeigers zu drehen, so daß der

Digitized by Google

Winkel zwischen seiner Längsachse und der Vertikalen kleiner wird. Daraus geht aber hervor, daß man das Moment des Kräftepaares, welches bekanntlich durch das Produkt aus der Intensität der Kräfte und dem Abstand ihrer Richtungen gemessen wird, mit dem negativen Vorzeichen zu versehen hat. Ersetzt man noch das Gesamtgewicht des ganzen Beins durch die Summe der Gewichte G_2, G_4, G_6, bezüglich G_3, G_5, G_7 der drei Abschnitte desselben, so erhält man daher zur Berechnung des Drehungsmomentes der Schwere folgende Formeln

für den rechten Oberschenkel:

$$D_{s_2} = -(G_2 + G_4 + G_6)c_2' \sin \varphi_2$$

und für den linken Oberschenkel:

$$D_{s_3} = -(G_3 + G_5 + G_7)c_3' \sin \varphi_3. \qquad (2)$$

Nach früheren Untersuchungen über den Schwerpunkt des menschlichen Körpers[1]) betrugen bei unserem Versuchsindividuum die Gewichte des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes bezüglich 6,80 kg; 3,09 kg und 1,05 kg. Setzt man diese Werte für G_2, G_4 und G_6 oder G_3, G_5 und G_7 ein, so erhält man schließlich unter Berücksichtigung des oben berechneten Wertes von c_2' resp. c_3' die Formeln:

$$D_{s_2} = -276{,}782 \sin \varphi_2$$
$$D_{s_3} = -276{,}782 \sin \varphi_3. \qquad (2^a)$$

Diese Formeln gelten für jeden beliebigen Wert der Richtungswinkel φ_2 und φ_3; denn wenn z. B. das Kniegelenk hinter dem Hüftgelenk steht, so daß der Richtungswinkel dann negativ in Rechnung zu ziehen ist, so nimmt auch sein Sinus einen negativen Wert an, und das Drehungsmoment wird alsdann positiv. Man überzeugt sich aber leicht, daß in diesem Falle das Kräftepaar der Schwere den Oberschenkel von rechts gesehen im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers, d. h. also nach dem Obigen im positiven Sinne zu drehen sucht.

Die Werte der Richtungswinkel φ_2 und φ_3 finden sich nun für alle um je 0,01 sec zeitlich von einander entfernten Bewegungsphasen während der Periode des Beinschwingens in den Tabellen

---

1) Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften Band XV Nr. 7 Seite 629.

Digitized by Google

6 bis 11 auf den Seiten 376 bis 381 des V. Teils niedergelegt. Allerdings sind sie daselbst, wie schon oben erwähnt wurde, in Bogenmaß ausgedrückt. Da aber die trigonometrischen Tafeln fast ausnahmslos die Gradbezeichnungen der Winkel benutzen, so muß man diese Werte noch in Grade umrechnen. Dies geschieht bekanntlich durch Multiplikation mit $\frac{180}{\pi}$ oder 57,296. Die so erhaltenen Winkelwerte sind bis auf Minuten genau in den späteren Tabellen 7 bis 12 auf den Seiten 574 bis 585 dieser Abhandlung niedergelegt worden. In den gleichen Tabellen finden sich nun auch die nach den obigen Formeln (2^a) berechneten Werte der Drehungsmomente D_4 und D_5 aufgezeichnet. Da die Kräfte der Kräftepaare durch Kilogramm und die Arme derselben durch Centimeter gemessen wurden, so sind die Drehungsmomente in diesen Tabellen in Kilogramm-Centimeter ausgedrückt. Die Einheit des Drehungsmomentes würde demnach in diesem Maßsystem ein Kräftepaar besitzen, dessen Kräfte je 1 kg betragen und dessen Arm 1 cm lang ist.

Beim rechten Unterschenkel ist der Angriffspunkt der zweiten Kraft des von der Schwere verursachten Kräftepaares ein Punkt H_4'' auf seiner Längsachse (vgl. die folgende Figur 3 oder die Figur 5 auf Seite 358 des V. Teils), dessen Abstand vom Mittelpunkt des Kniegelenks mit c_4'' bezeichnet sein soll. Derselbe teilt die zwischen dem Schwerpunkt S_4 des Unterschenkels und dem Mittelpunkt F des oberen Sprunggelenks liegende Strecke der Längsachse des Unterschenkels im umgekehrten Verhältnis der Massen m_4 des Unterschenkels und m_6 des Fußes. Bezeichnet man die Länge $\overline{KF}$ des Unterschenkels mit l_4 und den Abstand $\overline{KS_4}$ des Schwerpunktes des Unterschenkels vom Mittelpunkt des Kniegelenks mit r_4, so ergibt sich zur Berechnung von c_4'' die Proportion

$$(c_4'' - r_4) : (l_4 - c_4'') = m_6 : m_4,$$

woraus folgt

$$c_4'' = \frac{m_4 r_4 + m_6 l_4}{m_4 + m_6}. \qquad (3)$$

Da $r_4 = 15{,}8$ cm und $l_4 = 37{,}7$ cm ist, so erhält man unter Berücksichtigung der im Anschluß an die Formel (1) angegebenen Werte von m_4 und m_6 für c_4'' den Wert von 21,4 cm, der natürlich auch für die entsprechende Strecke c_5'' des linken Unterschenkels gilt.

Der Arm des aus den beiden in K und H_4'' angreifenden Kräften $-G_{4,6}$ und $+G_{4,6}$ gebildeten Kräftepaares beträgt, wie man aus Figur 3 leicht erkennt, $c_4'' \cdot \sin\varphi_4$. Beachtet man, daß das Kräftepaar bei positivem Richtungswinkel den Unterschenkel im Sinne des Uhrzeigers, d. h. also hier im negativen Drehungssinne zu drehen sucht, und ersetzt man gleichzeitig das Gewicht $G_{4,6}$ bezüglich $G_{5,7}$ durch die Summe der Gewichte vom Unterschenkel

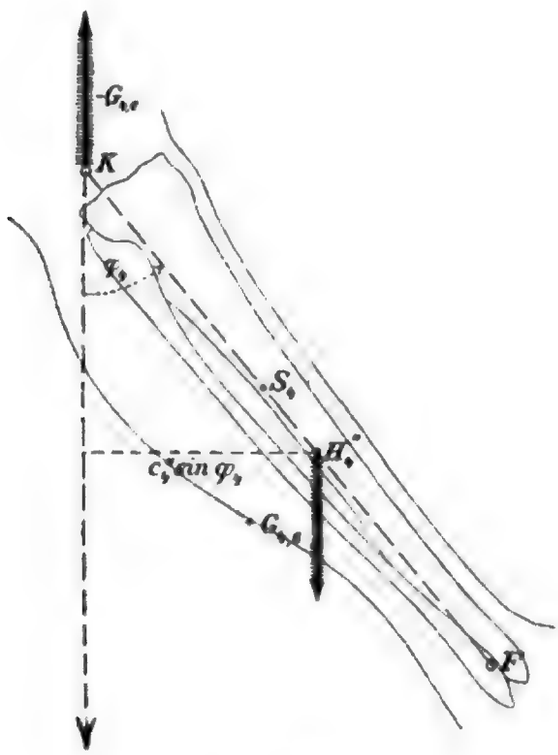


Fig. 3

und Fuß, so erhält man zur Berechnung des Drehungsmomentes der Schwere folgende Formeln:

$$\left.\begin{aligned} &\text{für den rechten Unterschenkel:} \quad D_{s_4} = -(G_4 + G_6)c_4'' \sin\varphi_4 \\ &\text{und für den linken Unterschenkel:} \quad D_{s_5} = -(G_5 + G_7)c_5'' \sin\varphi_5. \end{aligned}\right\} (4)$$

Durch Einsetzen der oben im Anschluß an die Formel (2) angegebenen Werte der Gewichte und der vorhin berechneten Werte von c_4'' und c_5'' erhält man die für unser Versuchsindividuum geltenden Formeln:

$$\left.\begin{aligned} D_{s_4} &= -88{,}596 \cdot \sin\varphi_4 \\ D_{s_5} &= -88{,}596 \cdot \sin\varphi_5. \end{aligned}\right\} \quad (4^a)$$

Digitized by Google

Nachdem die in den Tabellen 6 bis 11 des V. Teiles angegebenen Werte der Richtungswinkel φ_6 und φ_7 in Grade umgerechnet worden waren, wurden mit Hilfe dieser Formeln die Werte der von der Schwere auf den Unterschenkel ausgeübten Drehungsmomente bestimmt und die Resultate dieser Rechnungen in die späteren Tabellen 7 bis 12 eingetragen. Auch hier sind natürlich die Drehungsmomente in Kilogramm-Centimeter ausgedrückt.

Beim rechten Fuß fällt der Angriffspunkt der zweiten Kraft des Kräftepaares mit seinem Schwerpunkt zusammen. Bezeichnet man den Abstand desselben vom Mittelpunkt des oberen Sprunggelenks mit r_6 und beachtet, daß die beiden Kräfte an Intensität gleich dem Gewicht des Fußes sind, so erhält man nach Figur 4

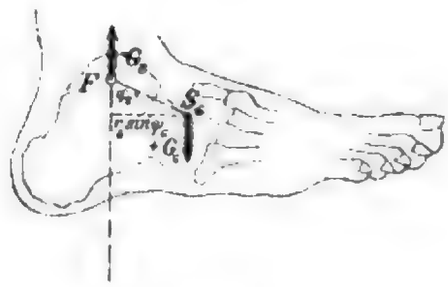


Fig. 4.

(vgl. auch Fig. 7 auf Seite 360 des V. Teils) für die Berechnung des Drehungsmomentes der Schwere die Formeln

$$\left.\begin{aligned} &\text{für den rechten Fuß:} \quad D_{s_6} = -G_6 r_6 \sin\varphi_6 \\ &\text{und für den linken Fuß:} \quad D_{s_7} = -G_7 r_7 \sin\varphi_7. \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

Dabei deutet das negative Vorzeichen wieder darauf hin, daß die Schwere den Fuß bei positivem Richtungswinkel im Sinne des Uhrzeigers, also im negativen Drehungssinne zu drehen sucht.

Als Wert für die mit r_6 bezüglich r_7 bezeichnete Strecke $\overline{FS_6}$ bezüglich $\overline{FS_7}$ wurde oben 6,8 cm angegeben. Setzt man diesen und den Wert für das Gewicht des Fußes in die Formeln (5) ein, so erhält man

$$\left.\begin{aligned} D_{s_6} &= -7{,}140 \cdot \sin\varphi_6 \\ D_{s_7} &= -7{,}140 \cdot \sin\varphi_7. \end{aligned}\right\} \tag{5*}$$

Die hieraus sich ergebenden Werte für die von der Schwere auf den Fuß ausgeübten Drehungsmomente und die in Graden

Digitized by Google

ausgedrückten Werte der Richtungswinkel φ_6 und φ_7 finden sich ebenfalls in den folgenden Tabellen 7 bis 12 aufgezeichnet.

Damit man alle auf die Kinetik des Beinschwingens bezüglichen Größen nebeneinander hat, sind in diese Tabellen auch die Drehungsmomente der Effektivkräfte, die Werte der Produkte $mx^2\varphi''$ und die hieraus sich ergebenden Werte der Drehungsmomente innerer Kräfte, welche in erster Linie von der Kontraktion der Muskeln herrühren, mit aufgenommen worden, trotzdem erst später auf die Ableitung derselben eingegangen wird.

Digitized by Google

Tabelle 7.

Werte aller für die Kinetik des Beinschwingens in Betracht kommenden Größen beim I. Versuch für den

Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden	rechten Oberschenkel					rechten Unterschenkel					rechten Fuß					Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden
	φ_2	$m_2 x_2^2 \varphi_2''$ in kgcm	D_{s_2} in kgcm	D_{c_2} in kgcm	D_{m_2} in kgcm	φ_4	$m_4 x_4^2 \varphi_4''$ in kgcm	D_{s_4} in kgcm	D_{c_4} in kgcm	D_{m_4} in kgcm	φ_6	$m_6 x_6^2 \varphi_6''$ in kgcm	D_{s_6} in kgcm	D_{c_6} in kgcm	D_{m_6} in kgcm	
0	−16°34′	+35,1	+ 78,9	−312,8	+269,0	−47°30′	+ 7,8	+65,3	−133,5	+ 76,0	−14°23′	+4,6	+1,8	−24,6	+27,4	0
1	−14°26′	+31,1	+ 69,0	−283,5	+245,6	−50° 1′	+ 13,4	+67,9	−137,5	+ 83,0	−18°30′	+4,9	+2,3	−25,1	+27,7	1
2	−11°38′	+24,1	+ 55,8	−252,0	+220,3	−52°50′	+ 16,8	+70,6	−158,7	+104,9	−20°58′	+5,4	+2,6	−26,8	+29,6	2
3	− 9°34′	+15,0	+ 46,0	−230,8	+199,8	−54°46′	+ 19,6	+72,4	−167,4	+114,6	−22°45′	+7,1	+2,8	−26,9	+31,2	3
4	− 7°20′	0	+ 35,3	−182,8	+147,5	−55°59′	+ 22,1	+73,4	−152,8	+101,5	−23°36′	+5,0	+2,9	−25,1	+27,2	4
5	− 5°13′	−13,0	+ 25,2	−149,7	+111,5	−56°50′	+ 25,2	+74,2	−131,9	+ 82,9	−23°54′	+3,8	+2,9	−22,1	+23,0	5
6	− 3° 2′	−22,1	+ 14,6	−119,1	+ 82,4	−57°18′	+ 30,0	+74,6	−116,6	+ 72,0	−23°43′	+3,2	+2,9	−19,9	+20,2	6
7	− 1° 5′	−25,1	+ 5,2	− 90,8	+ 60,5	−57°14′	+ 55,2	+74,5	−101,1	+ 81,8	−23° 2′	+4,6	+2,8	−17,1	+18,9	7
8	+ 0°58′	−22,1	− 4,7	− 65,8	+ 48,4	−56°50′	+ 17,6	+74,2	− 85,6	+ 29,0	−21°36′	+3,1	+2,6	−14,3	+14,8	8
9	+ 3° 2′	−19,1	− 14,6	− 43,8	+ 39,3	−55°45′	+ 13,7	+73,2	− 73,3	+ 13,8	−19°32′	+2,2	+2,4	−11,5	+11,3	9
10	+ 4°52′	−16,0	− 23,5	− 21,6	+ 29,1	−54° 9′	+ 12,0	+71,8	− 61,0	+ 1,2	−17°15′	+1,6	+2,1	− 9,1	+ 8,6	10
11	+ 6°46′	−14,0	− 32,6	− 0,8	+ 19,4	−52°12′	+ 10,1	+70,0	− 49,0	− 10,9	−14°37′	+1,1	+1,8	− 6,3	+ 5,6	11
12	+ 8°12′	−12,0	− 39,5	+ 19,5	+ 8,0	−49°58′	+ 9,5	+67,8	− 39,5	− 18,8	−11°38′	+0,9	+1,4	− 4,5	+ 4,0	12
13	+ 9°44′	−11,0	− 46,8	+ 25,3	+ 10,5	−47°54′	+ 8,4	+65,7	− 37,9	− 19,4	− 8°39′	+0,9	+1,1	− 4,4	+ 4,2	13
14	+11°17′	− 9,6	− 54,2	+ 35,7	+ 8,9	−45°23′	+ 7,3	+63,1	− 39,3	− 16,5	− 5°33′	+0,7	+0,7	− 5,4	+ 5,4	14
15	+12°40′	− 8,7	− 60,7	+ 40,2	+ 11,8	−42°41′	+ 6,4	+60,1	− 42,0	− 11,7	− 1°50′	+0,7	+0,2	− 6,4	+ 6,9	15
16	+14°19′	− 8,1	− 68,4	+ 53,8	+ 6,5	−40° 6′	+ 6,2	+57,1	− 41,6	− 9,3	+ 1°26′	+0,7	−0,2	− 6,5	+ 7,4	16
17	+15°42′	− 7,8	− 74,9	+ 70,7	− 3,6	−37°15′	+ 5,6	+53,6	− 37,0	− 11,0	+ 5° 6′	+0,7	−0,6	− 6,1	+ 7,4	17

18	+17° 1′	− 8,0	− 81,0	+ 81,1	− 8,1	−34°26′	+ 5,3	+50,1	− 22,1	− 22,7	+ 8°29′	+0,6	−1,1	− 5,3	+ 7,0	18
19	+18°27′	− 8,3	− 87,6	+ 92,5	− 13,2	−31°38′	+ 5,0	+46,5	− 7,0	− 34,5	+12°19′	+0,7	−1,9	− 4,3	+ 6,9	19
20	+19°39′	− 8,9	− 93,1	+106,9	− 22,7	−28°32′	+ 4,8	+42,3	+ 8,2	− 45,7	+15°59′	+0,7	−2,0	− 3,4	+ 6,1	20
21	+21° 5′	− 9,7	− 99,6	+117,8	− 27,9	−23°36′	+ 5,3	+35,5	+ 19,5	− 49,7	+19°32′	+0,7	−2,1	− 2,8	+ 5,9	21
22	+22°10′	−11,0	−104,4	+131,6	− 38,2	−20° 0′	+ 6,2	+30,3	+ 31,2	− 55,3	+23° 9′	+0,7	−2,8	− 2,4	+ 5,9	22
23	+23°16′	−13,0	−109,3	+144,2	− 47,9	−16°37′	+ 7,0	+25,3	+ 43,3	− 61,6	+26°28′	+0,6	−3,2	− 2,0	+ 5,8	23
24	+24°11′	−15,0	−113,4	+159,0	− 60,6	−12°33′	+ 7,8	+19,3	+ 53,6	− 65,1	+30° 5′	+0,5	−3,6	− 1,7	+ 5,8	24
25	+25° 9′	−17,0	−117,6	+173,3	− 72,7	− 8°18′	+ 9,2	+12,8	+ 65,0	− 68,6	+34° 9′	+0,3	−4,0	− 1,1	+ 5,4	25
26	+25°54′	−20,1	−120,9	+186,2	− 85,4	− 4°38′	+ 13,2	+ 7,2	+ 74,7	− 68,7	+38°23′	+0,2	−4,4	− 1,2	+ 5,8	26
27	+26°25′	−26,1	−123,1	+193,1	− 96,1	− 0°55′	+ 15,1	+ 1,4	+ 85,0	− 71,3	+41°56′	0	−4,8	− 0,9	+ 5,7	27
28	+26°39′	−35,1	−124,1	+197,6	−108,6	+ 3°23′	+ 6,4	− 5,2	+ 93,9	− 82,3	+45°47′	−0,3	−5,1	− 0,6	+ 5,4	28
29	+26°45′	−65,2	−124,6	+186,3	−126,9	+ 7°37′	0	−11,7	+104,4	− 92,7	+49°58′	−0,7	−5,5	− 0,0	+ 4,8	29
30	+26°49′	−45,1	−124,9	+177,6	− 97,8	+12°33′	− 13,4	−19,3	+112,9	−107,0	+53°34′	−1,2	−5,7	+ 1,0	+ 3,5	30
31	+26°45′	−15,0	−124,6	+134,8	− 25,2	+17°53′	− 36,4	−27,2	+118,5	−127,7	+58° 6′	−2,0	−6,1	+ 2,7	+ 1,4	31
32	+26°39′	0	−124,1	+205,9	− 81,8	+21°36′	− 47,3	−32,6	+165,9	−180,6	+61°25′	−3,7	−6,3	+ 8,7	− 6,1	32
33	+26°32′	+21,1	−123,6	+192,3	− 47,6	+24°24′	− 51,0	−36,6	+180,6	−195,0	+64° 7′	−6,5	−6,4	+13,4	−13,5	33
34	+26°28′	+33,1	−123,4	+174,6	− 18,1	+26°52′	− 52,9	−40,0	+208,7	−221,6	+66° 4′	−5,9	−6,5	+25,9	−15,3	34
35	+26°39′	+38,1	−124,1	+155,8	+ 6,4	+27°58′	− 54,1	−41,5	+253,9	−266,5	+67°16′	−5,1	−6,6	+36,3	−34,8	35
36	+26°56′	+39,1	−125,4	+191,5	− 27,0	+28°35′	− 54,9	−42,4	+326,2	−338,7	+67°54′	−4,4	−6,6	+43,6	−41,4	36
37	+27°20′	+35,1	−127,1	+161,3	+ 0,9	+28°32′	− 55,5	−42,3	+261,8	−275,0	+67°50′	−3,9	−6,6	+33,1	−30,7	37
38	+27°51′	+20,1	−129,3	+141,6	+ 7,8	+27°44′	− 61,6	−41,2	+169,8	−190,2	+67°19′	−3,4	−6,6	+19,7	−16,5	38
39	+28°42′	0	−132,9	+ 72,9	+ 60,0	+26°25′	−140,1	−39,4	+ 73,3	−174,0	+66°11′	−3,0	−6,5	+ 8,3	− 4,8	39
40	+29°27′	−20,1	−136,1	+ 40,9	+ 75,1	+24° 4′	0	−36,1	+ 4,5	+ 31,6	+64°45′	−2,7	−6,5	+ 1,2	+ 5,0	40
41	+30° 8′	−60,2	−139,0	+ 61,1	+ 17,7	+21° 2′	+ 47,6	−31,8	− 15,5	+ 94,9	+62°55′	−2,5	−6,4	− 5,1	+ 9,0	41
41,5	+30°19′	−90,3	−139,7	+ 60,0	− 10,6	+20°34′	+ 70,0	−31,1	− 15,0	+116,1	+62°13′	−2,5	−6,3	− 6,7	+10,5	41,5

Digitized by Google

Tabelle 8.

Werte aller für die Kinetik des Beinschwingens in Betracht kommenden Größen beim I. Versuch für den

Zeit in 1/100 Sekunden	linken Oberschenkel φ_3	$m_3 x_3^2 \varphi_3''$ in kgcm	D_{s_3} in kgcm	D_{d_3} in kgcm	D_{m_3} in kgcm	linken Unterschenkel φ_5	$m_5 x_5^2 \varphi_5''$ in kgcm	D_{s_5} in kgcm	D_{d_5} in kgcm	D_{m_5} in kgcm	linken Fuß φ_7	$m_7 x_7^2 \varphi_7''$ in kgcm	D_{s_7} in kgcm	D_{d_7} in kgcm	D_{m_7} in kgcm	Zeit in 1/100 Sekunden
0	−18°37′	+44,1	+ 88,4	−206,9	+162,6	−45°16′	+ 2,8	+62,9	−103,7	+ 43,6	−14°19′	+ 4,5	+1,8	−19,8	+22,5	0
1	−16°27′	+37,1	+ 78,4	−209,7	+168,4	−47°13′	+ 10,1	+65,0	−132,2	+ 77,3	−16°34′	+ 4,2	+2,0	−23,1	+25,3	1
2	−14°23′	+26,1	+ 68,8	−197,9	+155,2	−49°47′	+ 15,7	+67,7	−155,6	+103,6	−18°20′	+ 3,6	+2,2	−25,3	+26,7	2
3	−12°12′	+14,0	+ 58,5	−179,9	+135,4	−51°27′	+ 18,2	+69,3	−169,6	+118,5	−19°46′	+ 3,1	+2,4	−26,0	+26,7	3
4	−10°22′	0	+ 49,8	−160,9	+111,1	−52°43′	+ 21,8	+70,5	−170,2	+121,5	−20°17′	+ 3,5	+2,5	−25,5	+26,5	4
5	− 7°51′	−13,0	+ 37,8	−139,2	+ 88,4	−53°24′	+ 28,3	+71,1	−161,9	+119,1	−20°27′	+ 5,1	+2,5	−23,6	+26,2	5
6	− 5°51′	−17,0	+ 28,2	−121,8	+ 76,6	−53°31′	+ 33,6	+71,2	−148,0	+110,4	−20° 7′	+ 5,5	+2,5	−21,6	+24,6	6
7	− 4° 8′	−14,5	+ 20,0	−103,2	+ 68,7	−53°10′	+ 25,2	+70,9	−131,7	+ 86,0	−19°12′	+ 3,5	+2,3	−19,0	+20,2	7
8	− 2° 4′	−12,4	+ 10,0	− 87,9	+ 65,5	−52°15′	+ 17,6	+70,1	−118,2	+ 65,7	−17°25′	+ 2,4	+2,1	−17,1	+17,4	8
9	− 0° 7′	−10,7	+ 0,6	− 67,7	+ 56,4	−50°42′	+ 14,3	+68,6	−102,4	+ 48,1	−15° 4′	+ 1,6	+1,9	−14,3	+14,0	9
10	+ 1°36′	− 9,6	− 7,7	− 51,0	+ 49,1	−49°16′	+ 12,0	+67,1	− 92,0	+ 36,9	−13° 7′	+ 1,2	+1,6	−12,3	+11,9	10
11	+ 3°30′	− 8,9	− 16,9	− 32,8	+ 40,8	−47°26′	+ 10,6	+65,3	− 81,2	+ 26,5	−10°15′	+ 1,0	+1,3	−10,2	+ 9,9	11
12	+ 5°16′	− 8,4	− 25,4	− 15,6	+ 32,6	−45°19′	+ 9,5	+63,0	− 70,3	+ 16,8	− 7°37′	+0,9	+0,9	− 8,2	+ 8,2	12
13	+ 6°53′	− 8,2	− 33,2	+ 2,7	+ 22,3	−43°12′	+ 8,4	+60,6	− 60,2	+ 8,0	− 4°52′	+ 1,1	+0,6	− 6,5	+ 7,0	13
14	+ 8°29′	− 8,4	− 40,8	+ 15,4	+ 17,0	−40°48′	+ 7,6	+57,9	− 48,0	− 2,3	− 1°53′	+ 1,6	+0,2	− 5,0	+ 6,4	14
15	+10°19′	− 8,8	− 49,6	+ 29,4	+ 11,4	−38°23′	+ 7,0	+55,0	− 32,9	− 15,1	+ 1°23′	+ 1,8	−0,2	− 3,3	+ 5,3	15
16	+11°52′	− 9,5	− 56,9	+ 40,6	+ 6,8	−35°21′	+ 6,2	+51,3	− 21,4	− 23,7	+ 4° 4′	+ 1,6	−0,5	− 2,4	+ 4,5	16
17	+13° 7′	−10,3	− 62,8	+ 51,9	+ 0,6	−32°43′	+ 5,6	+47,9	− 12,1	− 30,2	+ 8° 1′	+ 0,9	−1,0	− 1,9	+ 3,8	17

Digitized by Google

18	+14°47′	−11,5	− 70,6	+ 57,4	+ 1,7	−28°39′	+ 5,3	+42,5	− 4,9	**− 32,3**	+12° 9′	+ 0,7	− 1,5	− 2,0	**+ 4,2**	18
19	+16° 9′	−12,7	− 77,0	+ 57,6	**+ 6,7**	−25°54′	+ 5,0	+38,7	− 3,2	**− 30,5**	+15°28′	+ 0,5	− 1,9	− 3,1	**+ 5,5**	19
20	+17°25′	−14,6	− 82,8	+ 53,2	**+ 15,0**	−22°59′	+ 4,8	+34,6	− 8,9	**− 20,9**	+19°25′	+ 0,5	− 2,4	− 5,4	**+ 8,3**	20
21	+18°48′	−16,8	− 89,2	+ 53,9	**+ 18,5**	−19°46′	+ 4,5	+30,0	− 11,5	**− 14,0**	+23°23′	+ 0,4	− 2,8	− 7,0	**+ 10,2**	21
22	+19°46′	−18,9	− 93,6	+ 62,4	**+ 12,3**	−16°51′	+ 4,8	+25,7	− 5,9	**− 15,0**	+26°49′	+ 0,4	− 3,2	− 7,2	**+ 10,8**	22
23	+20°51′	−21,1	− 98,5	+ 84,5	**− 7,1**	−13°28′	+ 5,9	+20,6	+ 7,8	**− 22,5**	+30°12′	+ 0,4	− 3,6	− 6,4	**+ 10,4**	23
24	+21°50′	−24,1	−102,9	+111,2	**− 32,4**	− 9°44′	+ 7,0	+15,0	+ 32,9	**− 40,9**	+33°55′	+ 0,3	− 4,0	− 4,6	**+ 8,9**	24
25	+22°38′	−27,1	−106,5	+124,9	**− 45,5**	− 6°11′	+ 8,4	+ 9,5	+ 45,7	**− 46,8**	+37°21′	+ 0,2	− 4,3	− 4,8	**+ 9,3**	25
26	+23°12′	−30,1	−109,0	+145,5	**− 66,6**	− 1°57′	+ 7,6	+ 3,0	+ 62,1	**− 57,5**	+40°58′	+ 0,2	− 4,7	− 4,7	**+ 9,6**	26
27	+23°33′	−32,9	−110,6	+149,3	**− 71,6**	+ 1°26′	+ 3,6	− 2,2	+ 74,5	**− 68,7**	+44°38′	+ 0,0	− 5,0	− 5,0	**+ 10,0**	27
28	+23°40′	−34,8	−111,1	+188,8	**−112,5**	+ 5°51′	0	− 9,0	+ 95,2	**− 86,2**	+48°45′	0	− 5,4	− 4,3	**+ 9,7**	28
29	+23°36′	−35,3	−110,8	+229,1	**−153,6**	+10°15′	− 4,2	−15,8	+115,3	**−103,7**	+52°43′	− 0,7	− 5,7	− 2,3	**+ 7,3**	29
30	+23°23′	−31,6	−109,9	+271,4	**−193,1**	+13°45′	− 7,8	−21,1	+146,7	**−133,4**	+56°40′	− 1,4	− 6,0	+ 1,5	**+ 3,1**	30
31	+23° 5′	−23,1	−108,5	+286,8	**−201,4**	+17°49′	− 12,0	−27,1	+181,4	**−166,3**	+60°51′	− 2,2	− 6,2	+ 6,8	**− 2,8**	31
32	+22°34′	−10,0	−106,2	+270,9	**−174,7**	+21°19′	− 17,4	−32,2	+202,4	**−187,6**	+64°38′	− 3,1	− 6,4	+11,7	**− 8,4**	32
33	+22° 4′	0	−104,0	+208,8	**−104,8**	+25° 6′	− 23,0	−37,6	+206,7	**−192,1**	+67°40′	− 4,3	− 6,6	+15,2	**−12,9**	33
34	+21°39′	+25,1	−102,1	+116,0	**+ 11,2**	+27°54′	− 29,4	−41,5	+199,6	**−187,5**	+70°28′	− 6,3	− 6,7	+19,3	**−18,9**	34
35	+21°15′	+44,1	−100,3	+ 28,7	**+115,7**	+29°58′	− 39,2	−44,3	+203,9	**−198,8**	+72°15′	− 6,7	− 6,8	+27,1	**−27,0**	35
36	+21°12′	+70,2	−100,1	+ 17,0	**+153,3**	+30°39′	− 45,7	−45,2	+228,1	**−228,6**	+72°56′	− 5,5	− 6,8	+39,9	**−38,6**	36
37	+21°36′	+78,2	−101,9	+ 55,3	**+124,8**	+30°46′	− 49,3	−45,3	+211,9	**−215,9**	+72°46′	− 4,0	− 6,8	+31,8	**−29,0**	37
38	+22°24′	+76,2	−105,5	+146,1	**+ 35,6**	+29°34′	− 54,1	−43,7	+195,8	**−206,2**	+72° 5′	− 3,0	− 6,8	+20,9	**−17,1**	38
39	+23°29′	0	−110,3	+200,7	**− 90,4**	+27°40′	−126,0	−41,1	+159,5	**−244,4**	+70°39′	− 2,4	− 6,7	+12,4	**− 8,1**	39
40	+24°35′	−30,1	−115,1	+235,3	**−150,3**	+25° 6′	0	−37,6	+ 97,9	**− 60,3**	+68°42′	− 1,9	− 6,7	+ 3,3	**+ 1,5**	40
41	+25°23′	−80,2	−118,7	+251,2	**−212,7**	+22°14′	+ 61,6	−33,5	+ 43,8	**+ 51,3**	+66°45′	− 1,6	− 6,6	− 1,7	**+ 6,7**	41
41,7	+25°33′	−90,3	−119,4	+215,6	**−186,5**	+20°55′	+112,0	−31,6	− 14,9	**+158,5**	+65°33′	− 1,5	− 6,5	− 7,0	**+12,0**	41,7
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	

Tabelle 9.

Werte aller für die Kinetik des Beinschwingens in Betracht kommenden Größen beim II. Versuch für den

Zeit in 1/100 Sekunden	rechten Oberschenkel					rechten Unterschenkel					rechten Fuß					Zeit in 1/100 Sekunden
	φ_2	$m_2 x_2^2 \varphi_2''$ in kgcm	D_{s_2} in kgcm	D_{c_2} in kgcm	D_{m_2} in kgcm	φ_4	$m_4 x_4^2 \varphi_4''$ in kgcm	D_{s_4} in kgcm	D_{c_4} in kgcm	D_{m_4} in kgcm	φ_6	$m_6 x_6^2 \varphi_6''$ in kgcm	D_{s_6} in kgcm	D_{c_6} in kgcm	D_{m_6} in kgcm	
0	−13°55′	+36,1	+ 66,6	−280,7	+250,2	−48°49′	+ 3,4	+66,7	−123,7	+ 60,4	−16°27′	+ 3,6	+2,0	−24,9	+26,5	0
1	−11°41′	+30,1	+ 56,0	−260,7	+234,8	−50°53′	+ 10,4	+68,7	−129,6	+ 71,3	−19°39′	+ 5,1	+2,4	−25,5	+28,2	1
2	− 9°27′	+23,1	+ 45,4	−232,0	+209,7	−53°10′	+ 15,4	+70,9	−132,9	+ 77,4	−21°22′	+ 4,1	+2,6	−24,9	+26,4	2
3	− 7°17′	+16,0	+ 35,1	−199,8	+180,7	−55°11′	+ 18,8	+72,7	−136,1	+ 82,2	−22°24′	+ 3,2	+2,7	−23,9	+24,4	3
4	− 5° 9′	0	+ 24,8	−162,2	+137,4	−56°19′	+ 21,8	+73,7	−132,3	+ 80,4	−22°59′	+ 2,9	+2,8	−22,1	+22,2	4
5	− 3° 2′	− 9,0	+ 14,6	−128,5	+104,9	−57° 7′	+ 26,9	+74,4	−120,9	+ 73,4	−23° 5′	+ 2,8	+2,8	−20,0	+20,0	5
6	− 1° 5′	−23,1	+ 5,2	−101,4	+ 73,1	−57°18′	+ 42,0	+74,6	−107,6	+ 75,0	−22°48′	+ 3,7	+2,8	−17,9	+18,8	6
7	+ 0°52′	−21,1	− 4,2	− 77,0	+ 60,1	−57° 7′	+ 23,8	+74,4	− 95,2	+ 44,6	−22° 4′	+ 4,6	+2,7	−15,8	+17,7	7
8	+ 2°45′	−18,1	− 13,3	− 52,0	+ 47,2	−56°16′	+ 18,8	+73,7	− 83,0	+ 28,1	−20°51′	+ 3,3	+2,5	−13,8	+14,6	8
9	+ 4°35′	−15,5	− 22,1	− 30,6	+ 37,2	−55°17′	+ 16,0	+72,8	− 74,1	+ 17,3	−18°51′	+ 2,3	+2,3	−11,8	+11,8	9
10	+ 6° 8′	−13,7	− 29,6	− 8,7	+ 24,6	−53°48′	+ 13,7	+71,5	− 64,7	+ 6,9	−16°34′	+ 1,6	+2,0	− 9,8	+ 9,4	10
11	+ 7°54′	−12,2	− 38,0	+ 11,0	+ 14,8	−51°41′	+ 11,8	+69,5	− 57,7	+ 0,0	−13°52′	+ 1,2	+1,7	− 8,1	+ 7,6	11
12	+ 9°41′	−10,8	− 46,6	+ 32,8	+ 3,0	−49°30′	+ 10,1	+67,4	− 50,0	− 7,3	−11° 0′	+ 0,9	+1,4	− 6,9	+ 6,4	12
13	+11°10′	− 9,6	− 53,6	+ 41,7	+ 2,3	−47° 9′	+ 9,0	+65,0	− 48,1	− 7,9	− 7°23′	+ 0,7	+0,9	− 6,7	+ 6,5	13
14	+12°47′	− 9,0	− 61,2	+ 46,5	+ 5,7	−44°52′	+ 7,8	+62,5	− 48,9	− 5,8	− 4°21′	+ 0,6	+0,5	− 7,6	+ 7,7	14
15	+14°16′	− 8,8	− 68,2	+ 49,7	+ 9,7	−42°10′	+ 7,3	+59,5	− 51,0	− 1,2	− 0°45′	+ 0,5	+0,1	− 8,8	+ 9,2	15
16	+15°35′	− 8,7	− 74,4	+ 59,5	+ 6,2	−39°22′	+ 6,2	+56,2	− 47,8	− 2,2	+ 2°45′	+ 0,5	−0,3	− 9,0	+ 9,8	16
17	+16°54′	− 9,0	− 80,5	+ 77,7	− 6,2	−36°33′	+ 5,6	+52,8	− 41,0	− 6,2	+ 6°18′	+ 0,5	−0,8	− 8,0	+ 9,3	17

Digitized by Google

18	+18°10′	— 9,8	— 86,3	+ 95,3	— 18,8	−33°10′	+ 5,3	+48,5	— 30,8	— 12,4	+ 9°27′	+0,6	−1,2	— 6,4	+ 8,2	18
19	+19°22′	−10,8	— 91,8	+112,2	— 31,2	−30°25′	+ 5,0	+44,9	— 11,3	— 28,6	+11°58′	+0,7	−1,5	— 4,6	+ 6,8	19
20	+20°34′	−12,4	— 97,2	+129,5	— 44,7	−26°18′	+ 4,8	+39,3	+ 9,7	— 44,2	+16° 3′	+0,7	−2,0	— 2,9	+ 5,6	20
21	+21°39′	−14,0	−102,1	+147,4	— 59,3	−22°55′	+ 5,3	+34,5	+ 25,8	— 55,0	+19°22′	+0,7	−2,4	— 1,6	+ 4,7	21
22	+22°34′	−16,0	−106,2	+162,6	— 72,4	−18°24′	+ 6,2	+28,0	+ 36,8	— 58,6	+24° 0′	+0,5	−2,9	— 1,2	+ 4,6	22
23	+23°29′	−19,1	−110,3	+175,0	— 83,8	−14°26′	+ 7,3	+22,1	+ 44,5	— 59,3	+27°27′	+0,4	−3,3	— 1,4	+ 5,1	23
24	+24°28′	−22,1	−114,6	+193,2	−100,7	−10°26′	+ 9,0	+16,0	+ 53,1	— 60,1	+31° 7′	+0,3	−3,7	— 1,6	+ 5,6	24
25	+25° 6′	−26,1	−117,4	+201,0	−109,7	— 6°35′	+ 12,0	+10,2	+ 59,9	— 58,1	+34°57′	+0,2	−4,1	— 2,4	+ 6,7	25
26	+25°37′	−32,1	−119,7	+212,9	−125,3	— 2°55′	+ 14,0	+ 4,5	+ 67,4	— 57,9	+38°23′	+0,2	−4,4	— 3,2	+ 7,8	26
27	+25°50′	−40,1	−120,6	+226,8	−146,3	+ 0°31′	+ 9,8	— 0,8	+ 74,1	— 63,5	+41°46′	+0,1	−4,8	— 3,8	+ 8,7	27
28	+25°57′	−53,2	−121,1	+248,7	−180,8	+ 5° 3′	0	— 7,8	+ 82,9	— 75,1	+45°43′	0	−5,1	— 3,2	+ 8,3	28
29	+26° 1′	−38,1	−121,4	+284,4	−201,1	+ 9°51′	— 7,3	−15,2	+ 98,4	— 90,5	+49°47′	−0,1	−5,5	— 1,0	+ 6,1	29
30	+25°57′	−21,1	−121,1	+302,8	−202,8	+14°16′	— 33,6	−21,8	+121,9	−133,7	+53°24′	−0,8	−5,7	+ 2,3	+ 2,6	30
31	+25°44′	0	−120,2	+294,2	−174,0	+18°48′	— 49,0	−28,6	+167,0	−187,4	+56°37′	−1,2	−6,0	+ 7,8	— 3,0	31
32	+25°33′	+16,0	−119,4	+199,8	— 64,4	+22°21′	— 52,1	−33,7	+182,9	−201,3	+60°13′	−2,2	−6,2	+12,1	— 8,1	32
33	+25°20′	+34,1	−118,4	−162,7	+315,2	+25° 9′	— 53,5	−37,7	+254,8	−270,6	+63°50′	−4,5	−6,4	+32,2	−30,3	33
34	+25°13′	+51,1	−117,9	— 86,9	+255,9	+27°16′	— 54,6	−40,6	+249,7	−263,7	+66° 4′	−8,6	−6,5	+39,9	−42,0	34
35	+25°23′	+58,2	−118,7	— 32,9	+209,8	+28°42′	— 55,2	−42,5	+219,4	−232,1	+67° 9′	−6,2	−6,6	+41,0	−40,6	35
36	+25°54′	+58,9	−120,9	+ 17,8	+162,0	+29°24′	— 56,0	−43,5	+166,5	−179,0	+67°19′	−4,6	−6,6	+28,3	−26,3	36
37	+26°45′	+56,2	−124,6	+ 48,8	+132,0	+29°13′	— 58,5	−43,2	+132,7	−148,0	+66°11′	−4,0	−6,5	+19,7	−17,2	37
38	+27°47′	0	−129,0	+164,6	— 35,6	+27°40′	— 75,1	−41,1	+134,0	−168,0	+65°33′	−3,6	−6,5	+12,2	— 9,3	38
39	+28°42′	−35,1	−132,9	+178,8	— 81,0	+25° 2′	−126,0	−37,5	+ 68,1	−156,6	+63°46′	−3,3	−6,4	+ 3,0	+ 0,1	39
40	+29°27′	−65,2	−136,1	+103,7	— 32,8	+20°31′	0	−31,1	— 29,3	+ 60,4	+61° 1′	−3,1	−6,2	— 8,5	+11,6	40
40,8	+29°41′	−76,2	−137,1	+103,8	— 42,9	+19° .5′	+100,8	−29,0	— 31,2	+161,0	+59°35′	−3,1	−6,2	— 9,2	+12,3	40,8
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	

Digitized by Google

Tabelle 10.

Werte aller für die Kinetik des Beinschwingens in Betracht kommenden Größen beim II. Versuch für den

Zeit in 1/100 Sekunden	linken Oberschenkel					linken Unterschenkel					linken Fuß					Zeit in 1/100 Sekunden
	φ_3	$m_3 \varkappa_3^2 \varphi_3''$ in kgcm	D_{s_3} in kgcm	D_{e_3} in kgcm	D_{m_3} in kgcm	φ_5	$m_5 \varkappa_5^2 \varphi_5''$ in kgcm	D_{s_5} in kgcm	D_{e_5} in kgcm	D_{m_5} in kgcm	φ_7	$m_7 \varkappa_7^2 \varphi_7''$ in kgcm	D_{s_7} in kgcm	D_{e_7} in kgcm	D_{m_7} in kgcm	
0	−16°37′	+41,1	+ 79,2	−277,8	+239,7	−45°12′	0	+62,9	−117,6	+ 54,7	−12°47′	+ 3,4	+1,6	−21,6	+23,4	0
1	−14°47′	+33,1	+ 70,6	−253,1	+215,6	−47°23′	+ 7,0	+65,2	−124,3	+ 66,1	−14°37′	+ 3,0	+1,8	−23,0	+24,2	1
2	−13° 0′	+23,1	+ 62,3	−224,4	+185,2	−49°13′	+ 12,0	+67,1	−146,1	+ 91,0	−17° 1′	+ 2,7	+2,1	−25,4	+26,0	2
3	−10°36′	+12,0	+ 50,9	−207,9	+169,0	−51° 0′	+ 17,6	+68,9	−161,4	+110,1	−18°30′	+ 3,2	+2,3	−26,5	+27,4	3
4	− 8°32′	0	+ 41,1	−186,2	+145,1	−52°39′	+ 22,7	+70,4	−166,6	+118,9	−20°14′	+ 4,0	+2,5	−26,3	+27,8	4
5	− 6°11′	− 8,0	+ 29,8	−159,6	+121,8	−53°31′	+ 30,0	+71,2	−165,1	+123,9	−20°41′	+ 5,2	+2,5	−25,0	+27,7	5
6	− 3°57′	−18,1	+ 19,1	−138,5	+101,3	−53°45′	+ 42,0	+71,4	−158,4	+129,0	−20°27′	+ 8,6	+2,5	−22,8	+28,9	6
7	− 1°43′	−17,6	+ 8,3	−106,8	+ 80,9	−53°10′	+ 25,5	+70,9	−143,1	+ 97,7	−19°15′	+ 3,3	+2,4	−18,9	+19,8	7
8	+ 0°10′	−15,3	− 0,8	− 78,8	+ 64,3	−52° 5′	+ 16,5	+69,9	−121,3	+ 67,9	−17°39′	+ 2,3	+2,2	−14,8	+14,9	8
9	+ 2° 4′	−12,9	− 10,0	− 55,3	+ 52,4	−50°36′	+ 13,4	+68,5	−102,7	+ 47,6	−15°32′	+ 1,8	+1,9	−11,4	+11,3	9
10	+ 4° 1′	−11,7	− 19,4	− 31,6	+ 39,3	−49°10′	+ 11,5	+67,0	− 86,5	+ 31,0	−13° 4′	+ 1,5	+1,6	− 8,8	+ 8,7	10
11	+ 5°44′	−10,7	− 27,7	− 13,8	+ 30,8	−47° 6′	+ 9,8	+64,9	− 73,3	+ 18,2	−10° 5′	+ 1,2	+1,3	− 7,0	+ 6,9	11
12	+ 7°27′	−10,1	− 35,9	+ 3,3	+ 22,5	−44°38′	+ 8,7	+62,2	− 64,5	+ 11,0	− 7°30′	+ 1,0	+0,9	− 6,0	+ 6,1	12
13	+ 9°13′	− 9,8	− 44,3	+ 14,2	+ 20,3	−41°56′	+ 7,6	+59,2	− 56,6	+ 5,0	− 4°38′	+ 0,9	+0,6	− 5,5	+ 5,8	13
14	+11° 7′	− 9,9	− 53,4	+ 27,4	+ 16,1	−39°29′	+ 6,4	+56,3	− 51,6	+ 1,7	− 1°19′	+ 0,8	+0,2	− 5,7	+ 6,3	14
15	+12°40′	−10,5	− 60,7	+ 42,7	+ 7,5	−36°44′	+ 5,3	+53,0	− 47,7	+ 0,0	+ 1°40′	+ 0,7	−0,2	− 6,4	+ 7,3	15
16	+14° 6′	−11,1	− 67,4	+ 53,0	+ 3,3	−33°52′	+ 4,8	+49,4	− 47,6	+ 3,0	+ 5° 6′	+ 0,7	−0,6	− 7,4	+ 8,7	16
17	+15°39′	−12,2	− 74,7	+ 59,7	+ 2,8	−30°29′	+ 4,2	+44,9	− 41,3	+ 0,6	+ 8°46′	+ 0,8	−1,1	− 8,1	+10,0	17

Digitized by Google

18	+17° 4′	−13,5	− 81,2	+ 68,8	− 1,1	−27°44′	+ 3,6	+41,2	− 31,9	− 5,7	+12°43′	+ 0,9	−1,6	− 8,4	+10,9	18
19	+18°17′	−15,4	− 86,8	+ 83,5	− 12,1	−24°45′	+ 3,1	+37,1	− 19,1	− 14,9	+16°16′	+ 1,0	−2,0	− 8,1	+11,1	19
20	+19°39′	−17,6	− 93,1	+102,3	− 26,8	−21° 9′	+ 2,8	+32,0	− 6,3	− 22,9	+20° 7′	+ 0,8	−2,5	− 7,5	+10,8	20
21	+20°44′	−20,2	− 98,0	+126,1	− 48,3	−17°39′	+ 3,4	+26,9	+ 10,2	− 33,7	+24°31′	+ 0,5	−3,0	− 6,5	+10,0	21
22	+21°36′	−22,6	−101,9	+164,5	− 85,2	−14°23′	+ 4,5	+22,0	+ 42,2	− 59,7	+28°35′	+ 0,4	−3,4	− 3,0	+ 6,8	22
23	+22°31′	−25,1	−106,0	+191,7	−110,8	−10°26′	+ 5,6	+16,0	+ 65,1	− 75,5	+31°58′	+ 0,3	−3,8	− 1,3	+ 5,4	23
24	+23° 9′	−28,1	−108,8	+218,7	−138,0	− 6°32′	+ 6,7	+10,1	+ 88,3	− 91,7	+36° 6′	+ 0,2	−4,2	+ 0,3	+ 4,1	24
25	+23°40′	−32,1	−111,1	+234,9	−155,9	− 2°59′	+ 8,4	+ 4,6	+102,9	− 99,1	+40° 6′	+ 0,1	−4,6	+ 0,3	+ 4,4	25
26	+24°11′	−36,1	−113,4	+239,2	−161,9	+ 0°31′	+ 5,6	− 0,8	+117,7	−111,3	+44°14′	0	−5,0	− 0,7	+ 5,7	26
27	+24°18′	−40,1	−113,9	+249,2	−175,4	+ 4°38′	+ 2,2	− 7,2	+130,1	−120,7	+47°37′	− 0,3	−5,3	− 1,3	+ 6,3	27
28	+24°11′	−41,7	−113,4	+256,7	−185,0	+ 8°29′	0	−13,1	+142,7	−129,6	+51°24′	− 0,7	−5,6	+ 0,1	+ 4,8	28
29	+23°54′	−38,6	−112,1	+226,7	−153,2	+12° 9′	− 5,0	−18,6	+139,2	−125,6	+55°24′	− 1,1	−5,9	+ 1,3	+ 3,5	29
30	+23°23′	−18,1	−109,9	+181,4	− 89,6	+16° 3′	− 8,4	−24,5	+129,5	−113,4	+59° 4′	− 1,4	−6,1	+ 2,6	+ 2,1	30
31	+22°45′	0	−107,0	+ 81,9	+ 25,1	+19°32′	− 11,5	−29,6	+113,1	− 95,0	+62°37′	− 1,6	−6,3	+ 4,6	+ 0,1	31
32	+22° 7′	+18,1	−104,2	+ 1,1	+121,2	+23° 2′	− 14,8	−34,7	+102,5	− 82,6	+65°22′	− 1,9	−6,5	+ 8,7	− 4,1	32
33	+21°36′	+34,1	−101,9	− 59,9	+195,9	+26°18′	− 25,2	−39,3	+ 97,2	− 83,1	+68°42′	− 2,9	−6,7	+10,2	− 6,4	33
34	+21°19′	+60,2	−100,6	+ 15,5	+145,3	+28°32′	− 44,8	−42,3	+159,3	−161,8	+71°34′	− 6,3	−6,8	+17,5	−17,0	34
35	+21°26′	+74,7	−101,1	+188,9	− 13,1	+29°20′	− 50,4	−43,4	+307,8	−314,8	+73° 0′	−12,5	−6,8	+44,7	−50,4	35
36	+21°57′	+75,5	−103,5	+305,3	−126,3	+29°37′	− 52,4	−43,8	+374,8	−383,4	+73°31′	− 5,3	−6,8	+43,0	−41,5	36
37	+22°34′	+60,2	−106,2	+253,2	− 86,8	+28°46′	− 57,4	−42,6	+291,5	−306,3	+73° 3′	− 4,2	−6,8	+32,2	−29,6	37
38	+23°36′	0	−110,8	+ 77,5	+ 33,3	+27°27′	−154,1	−40,8	+ 86,9	−200,2	+71°23′	− 3,2	−6,8	+13,1	− 9,5	38
39	+24°38′	−45,1	−115,4	+ 83,2	− 12,9	+24°21′	0	−36,5	+ 26,2	+ 10,3	+69°51′	− 2,4	−6,7	+ 1,3	− 0,0	39
40	+25°26′	−70,2	−118,9	+ 76,4	− 27,7	+21°50′	+ 81,2	−32,9	− 12,6	+126,7	+67°43′	− 2,1	−6,6	− 3,9	+ 8,4	40
40,9	+25°47′	−79,2	−120,4	+143,4	−102,2	+20°27′	+112,0	−31,0	− 11,8	+154,8	+65°40′	− 1,9	−6,5	− 7,0	+11,6	40,9

Digitized by Google

Tabelle 11.

Werte aller für die Kinetik des Beinschwingens in Betracht kommenden Größen beim III. Versuch für den

Zeit in 1/100 Sekunden	rechten Oberschenkel					rechten Unterschenkel					rechten Fuß					Zeit in 1/100 Sekunden
	φ_2	$m_2 x_2^2 \varphi_2''$ in kgcm	D_{d_2} in kgcm	D_{e_2} in kgcm	D_{m_2} in kgcm	φ_4	$m_4 x_4^2 \varphi_4''$ in kgcm	D_{d_4} in kgcm	D_{e_4} in kgcm	D_{m_4} in kgcm	φ_6	$m_6 x_6^2 \varphi_6''$ in kgcm	D_{d_6} in kgcm	D_{e_6} in kgcm	D_{m_6} in kgcm	
0	−20°14′	+33,1	+ 95,7	−207,0	+144,4	−38°23′	0	+55,0	−101,2	+ 46,2	−11°28′	+ 2,9	+1,4	−19,2	+20,7	0
1	−18°34′	+27,1	+ 88,1	−259,1	+198,1	−40°37′	+ 5,9	+57,7	−113,1	+ 61,3	−14° 9′	+ 3,4	+1,7	−20,5	+22,2	1
2	−16°47′	+18,1	+ 79,9	−182,7	+120,9	−43° 9′	+ 11,5	+60,6	−135,5	+ 86,4	−16°44′	+ 5,2	+2,1	−22,1	+25,2	2
3	−14°37′	+10,0	+ 69,8	−170,3	+110,5	−45° 9′	+ 15,4	+62,8	−161,2	+113,8	−18°17′	+ 4,0	+2,2	−23,8	+25,6	3
4	−12°26′	0	+ 59,6	−149,5	+ 89,9	−46°42′	+ 17,9	+64,5	−158,5	+111,9	−19°19′	+ 3,3	+2,4	−22,9	+23,8	4
5	−10°15′	−21,1	+ 49,3	−130,2	+ 59,8	−47°23′	+ 20,2	+65,2	−147,4	+102,4	−19°39′	+ 3,2	+2,4	−21,0	+21,8	5
6	− 8° 8′	−24,1	+ 39,2	−110,8	+ 47,5	−47°40′	+ 23,2	+65,5	−131,9	+ 89,6	−19°43′	+ 3,8	+2,4	−18,7	+20,1	6
7	− 6°18′	−18,1	+ 30,4	− 91,9	+ 43,4	−47°44′	+ 28,9	+65,6	−115,6	+ 78,9	−19° 1′	+ 5,3	+2,3	−16,0	+19,0	7
8	− 4°11′	−14,5	+ 20,2	− 79,4	+ 44,7	−47°13′	+ 18,2	+65,0	−105,7	+ 58,9	−17°39′	+ 3,2	+2,2	−14,2	+15,2	8
9	− 2°24′	−12,2	+ 11,6	− 64,7	+ 40,9	−46°21′	+ 15,4	+64,1	− 94,4	+ 45,7	−15°52′	+ 2,3	+1,9	−11,9	+12,3	9
10	− 0°38′	−10,4	+ 3,1	− 51,4	+ 37,9	−45° 9′	+ 13,7	+62,8	− 85,7	+ 36,6	−13° 4′	+ 1,8	+1,6	−10,0	+10,2	10
11	+ 0°58′	− 9,1	− 4,7	− 38,8	+ 34,4	−43°29′	+ 12,0	+61,0	− 75,9	+ 26,9	−11° 3′	+ 1,5	+1,4	− 8,1	+ 8,2	11
12	+ 2°45′	− 8,7	− 13,3	− 25,7	+ 30,3	−42° 0′	+ 10,9	+59,3	− 70,9	+ 22,5	− 8°29′	+ 1,2	+1,1	− 6,3	+ 6,4	12
13	+ 4°25′	− 8,2	− 21,3	− 8,2	+ 21,3	−39°46′	+ 10,1	+56,7	− 77,0	+ 30,4	− 5°44′	+ 1,0	+0,7	− 5,2	+ 5,5	13
14	+ 6° 4′	− 8,1	− 29,3	+ 5,6	+ 15,6	−37°42′	+ 9,2	+54,2	− 49,8	+ 4,8	− 2°45′	+ 0,8	+0,3	− 4,7	+ 5,2	14
15	+ 7°34′	− 8,8	− 36,4	+ 11,3	+ 16,3	−35° 4′	+ 8,4	+50,9	− 42,9	+ 0,4	+ 0°41′	+ 0,6	−0,1	− 5,5	+ 6,2	15
16	+ 9°10′	− 9,5	− 44,1	+ 17,5	+ 17,1	−32°15′	+ 7,8	+47,3	− 39,4	− 0,1	+ 4° 4′	+ 0,5	−0,5	− 6,2	+ 7,2	16
17	+10°33′	−10,5	− 50,7	+ 26,3	+ 13,9	−29°51′	+ 7,6	+44,1	− 35,2	− 1,3	+ 7°23′	+ 0,5	−0,9	− 6,7	+ 8,1	17

Digitized by Google

18	+11°58′	−11,7	− 57,4	+ 44,7	+ 1,0	−26°45′	+ 7,0	+39,9	− 27,0	− 5,9	+10°36′	+ 0,4	−1,3	− 6,6	+ 8,3	18
19	+13°21′	−13,2	− 63,9	+ 66,0	− 15,3	−23° 5′	+ 6,2	+34,7	− 18,1	− 10,4	+14°13′	+ 0,6	−1,8	− 6,1	+ 8,5	19
20	+14°30′	−14,8	− 69,3	+ 91,7	− 37,2	−20°10′	+ 5,6	+30,5	− 4,4	− 20,5	+17° 8′	+ 0,7	−2,1	− 5,3	+ 8,1	20
21	+15°35′	−17,0	− 74,4	+114,4	− 57,0	−17°15′	+ 5,3	+26,3	+ 10,0	− 31,0	+20°10′	+ 0,9	−2,5	− 4,4	+ 7,8	21
22	+16°30′	−19,1	− 78,6	+129,4	− 69,9	−13°42′	+ 6,2	+21,0	+ 23,1	− 37,9	+23°54′	+ 0,9	−2,9	− 3,6	+ 7,4	22
23	+17°22′	−22,1	− 82,6	+144,8	− 84,3	− 9° 3′	+ 6,7	+13,9	+ 35,5	− 42,7	+27°40′	+ 0,9	−3,3	− 2,9	+ 7,1	23
24	+18°13′	−25,1	− 86,5	+158,0	− 96,6	− 5°20′	+ 8,1	+ 8,2	+ 48,1	− 48,2	+31°51′	+ 0,8	−3,8	− 2,4	+ 7,0	24
25	+18°41′	−30,1	− 88,7	+164,5	−105,9	− 1°19′	+ 9,0	+ 2,0	+ 57,3	− 50,3	+35°59′	+ 0,7	−4,2	− 2,2	+ 7,1	25
26	+19° 8′	−35,1	− 90,7	+173,3	−117,7	+ 2°14′	+ 10,4	− 3,5	+ 68,3	− 54,4	+39°29′	+ 0,5	−4,5	− 2,1	+ 7,1	26
27	+19°22′	−44,1	− 91,8	+174,1	−126,4	+ 5°58′	+ 10,6	− 9,2	+ 77,1	− 57,3	+42°41′	+ 0,3	−4,8	− 2,0	+ 7,1	27
28	+19°29′	−62,2	− 92,3	+174,6	−144,5	+10°43′	+ 3,9	−16,5	+ 83,7	− 63,3	+46°25′	0	−5,2	− 2,6	+ 7,8	28
29	+19°15′	−50,1	− 91,3	+171,9	−130,7	+14°37′	0	−22,4	+ 89,9	− 67,5	+51°20′	− 0,7	−5,6	− 3,2	+ 8,1	29
30	+18°48′	−25,1	− 89,2	+175,3	−111,2	+19°56′	− 18,8	−30,2	+101,6	− 90,2	+54°53′	− 1,9	−5,8	− 0,8	+ 4,7	30
31	+18°17′	0	− 86,8	+187,9	−101,1	+23°23′	− 27,4	−35,2	+136,6	−128,8	+59° 8′	− 2,9	−6,1	+ 8,9	− 5,7	31
32	+17°46′	+25,1	− 84,5	+176,0	− 66,4	+26°52′	− 32,8	−40,0	+165,2	−158,0	+62°24′	− 3,3	−6,3	+15,6	−12,6	32
33	+17°18′	+45,1	− 82,3	+176,5	− 49,1	+29°41′	− 36,7	−43,9	+209,9	−202,7	+65°16′	− 3,8	−6,5	+29,1	−26,4	33
34	+17°11′	+57,7	− 81,8	+147,6	− 8,1	+31°27′	− 39,8	−46,2	+215,6	−209,2	+67°50′	− 4,7	−6,6	+29,2	−27,3	34
35	+17°25′	+60,2	− 82,8	+128,8	+ 14,2	+32°39′	− 42,3	−47,8	+227,6	−222,1	+69°30′	−13,7	−6,7	+28,7	−35,7	35
36	+17°53′	+58,2	− 85,0	+125,7	+ 17,5	+33° 4′	− 45,4	−48,3	+243,5	−240,6	+69°40′	− 5,1	−6,7	+29,0	−27,4	36
37	+18°41′	+47,1	− 88,7	+201,1	− 65,3	+32°43′	− 49,6	−47,9	+268,5	−270,2	+69° 2′	− 3,9	−6,7	+28,1	−25,3	37
38	+19°39′	0	− 93,1	+168,8	− 75,7	+31° 3′	− 57,4	−45,7	+278,1	−289,8	+67°50′	− 3,2	−6,6	+16,5	−13,1	38
39	+20°51′	−20,1	− 98,5	+119,0	− 40,6	+28°39′	−168,1	−42,5	+ 74,9	−200,5	+66° 0′	− 2,7	−6,5	+ 4,6	− 0,8	39
40	+21°43′	−45,1	−102,4	+120,1	− 62,8	+25°54′	0	−38,7	+ 31,3	+ 7,4	+64°21′	− 2,4	−6,4	− 1,7	+ 5,7	40
41	+22°14′	−68,2	−104,7	+141,6	−105,1	+24°18′	+ 84,0	−36,5	+ 14,7	+105,8	+62° 3′	− 2,2	−6,3	− 3,5	+ 7,6	41
41,45	+22°21′	−74,2	−105,2	+144,8	−113,8	+23°57′	+ 98,0	−36,0	+ 14,0	+120,0	+61°18′	− 2,2	−6,3	−10,1	+14,2	41,45

Digitized by Google

Tabelle 12.

Werte aller für die Kinetik des Beinschwingens in Betracht kommenden Größen beim III. Versuch für den

Zeit in 1/100 Sekunden	linken Oberschenkel					linken Unterschenkel					linken Fuß					Zeit in 1/100 Sekunden
	φ_5	$m_5 x_5^2 \varphi_5''$ in kgcm	D_{s_5} in kgcm	D_{e_5} in kgcm	D_{m_5} in kgcm	φ_5	$m_5 x_5^2 \varphi_5''$ in kgcm	D_{s_5} in kgcm	D_{e_5} in kgcm	D_{m_5} in kgcm	φ_7	$m_7 x_7^2 \varphi_7''$ in kgcm	D_{s_7} in kgcm	D_{e_7} in kgcm	D_{m_7} in kgcm	
0	−14°23′	+47,1	+ 68,8	−253,0	+231,3	−48° 8′	+ 1,4	+66,0	−119,0	+ 54,4	−12°19′	+ 5,9	+1,5	−24,2	+28,6	0
1	−13° 4′	+38,1	+ 62,6	−250,4	+225,9	−49°54′	+ 9,2	+67,8	−178,0	+119,4	−14°37′	+ 3,1	+1,8	−27,7	+29,0	1
2	−10°33′	+25,1	+ 50,7	−219,5	+193,9	−52°39′	+ 15,7	+70,4	−185,4	+130,7	−16°20′	+ 4,0	+2,0	−28,2	+30,2	2
3	− 8° 8′	+ 8,0	+ 39,2	−184,6	+153,4	−54°26′	+ 19,9	+72,1	−174,6	+122,4	−17°28′	+ 6,7	+2,1	−26,6	+31,2	3
4	− 6° 4′	0	+ 29,3	−148,5	+119,2	−56°12′	+ 23,0	+73,6	−154,6	+104,0	−17°56′	+ 3,4	+2,2	−23,4	+24,6	4
5	− 3°30′	−18,1	+ 16,9	−114,4	+ 79,4	−57° 1′	+ 25,5	+74,3	−133,2	+ 84,4	−17°46′	+ 2,7	+2,2	−19,6	+20,1	5
6	− 1°36′	−20,1	+ 7,7	− 86,5	+ 58,7	−57° 7′	+ 29,4	+74,4	−114,3	+ 69,3	−17°18′	+ 2,5	+2,1	−16,4	+16,8	6
7	+ 0°31′	−18,1	− 2,5	− 63,8	+ 48,2	−56°50′	+ 38,4	+74,2	− 98,8	+ 63,0	−16°13′	+ 2,4	+2,0	−13,6	+14,0	7
8	+ 2°17′	−15,0	− 11,0	− 37,1	+ 33,1	−56° 6′	+ 20,2	+73,5	− 86,0	+ 32,7	−15° 1′	+ 2,2	+1,9	−11,0	+11,3	8
9	+ 4° 1′	−12,5	− 19,4	− 16,2	+ 23,1	−55° 0′	+ 15,7	+72,6	− 76,6	+ 19,7	−13°31′	+ 2,1	+1,7	− 9,0	+ 9,4	9
10	+ 5°54′	−10,9	− 28,5	+ 7,6	+ 10,0	−53°27′	+ 13,2	+71,2	− 65,4	+ 7,4	−11°31′	+ 2,0	+1,4	− 7,1	+ 7,7	10
11	+ 7°48′	− 9,9	− 37,6	+ 25,1	+ 2,6	−51°58′	+ 11,2	+69,8	− 59,3	+ 0,7	− 9°27′	+ 1,8	+1,2	− 6,2	+ 6,8	11
12	+ 9°38′	− 9,2	− 46,3	+ 34,9	+ 2,2	−49°47′	+ 10,4	+67,7	− 53,9	− 3,4	− 6°56′	+ 1,6	+0,9	− 6,1	+ 6,8	12
13	+11° 7′	− 9,5	− 53,4	+ 42,3	+ 1,6	−47°44′	+ 9,2	+65,6	− 49,9	− 6,5	− 3°50′	+ 1,5	+0,5	− 6,2	+ 7,2	13
14	+12°36′	− 9,9	− 60,4	+ 48,5	+ 2,0	−45°16′	+ 8,7	+62,9	− 48,6	− 5,6	− 0°28′	+ 1,3	+0,1	− 6,7	+ 7,9	14
15	+14° 2′	−10,5	− 67,1	+ 61,3	− 4,7	−42°51′	+ 8,1	+60,3	− 47,2	− 5,0	+ 2° 7′	+ 1,0	−0,3	− 7,1	+ 8,4	15
16	+15°49′	−11,5	− 75,4	+ 82,6	− 18,7	−40°30′	+ 7,0	+57,5	− 45,1	− 5,4	+ 5°37′	+ 0,8	−0,7	− 6,3	+ 7,8	16
17	+17°18′	−12,6	− 82,3	+ 89,5	− 19,8	−37°42′	+ 6,4	+54,2	− 29,1	− 18,7	+ 9°10′	+ 0,7	−1,1	− 5,3	+ 7,2	17

Digitized by Google

18	+18°27′	−14,0	− 87,6	+ 97,5	− 23,9	−34°19′	+ 5,9	+49,9	− 13,6	− 30,4	+12°23′	+ 0,6	− 1,5	− 4,6	+ 6,7	18		
19	+19°46′	−16,0	− 93,6	+107,7	− 30,1	−31° 7′	+ 5,6	+45,8	− 1,2	− 39,0	+16°54′	+ 0,6	− 2,1	− 3,8	+ 6,5	19		
20	+20°51′	−18,1	− 98,5	+116,1	− 35,7	−27°34′	+ 5,3	+41,0	+ 11,0	− 46,7	+20° 7′	+ 0,7	− 2,5	− 3,0	+ 6,2	20		
21	+21°46′	−19,6	−102,6	+124,5	− 41,5	−24°28′	+ 5,0	+36,7	+ 21,8	− 53,5	+24° 0′	+ 0,7	− 2,9	− 2,5	+ 6,1	21		
22	+22°31′	−21,6	−106,0	+134,3	− 49,9	−20°14′	+ 6,2	+30,6	+ 31,6	− 56,0	+27°23′	+ 0,9	− 3,3	− 2,3	+ 6,5	22		
23	+23° 5′	−24,1	−108,5	+145,8	− 61,4	−16°30′	+ 7,0	+25,2	+ 43,8	− 62,0	+30°56′	+ 1,1	− 3,7	− 1,6	+ 6,4	23		
24	+23°40′	−26,1	−111,1	+153,7	− 68,7	−12°53′	+ 9,2	+19,8	+ 53,1	− 63,7	+34°33′	+ 0,9	− 4,0	− 1,7	+ 6,6	24		
25	+24° 4′	−29,1	−112,9	+167,9	− 84,1	− 9°13′	+ 11,2	+14,2	+ 60,8	− 63,8	+38°51′	+ 0,9	− 4,5	− 2,0	+ 7,4	25		
26	+24°18′	−32,6	−113,9	+185,9	−104,6	− 5°20′	+ 7,8	+ 8,2	+ 67,8	− 68,2	+42°24′	0	− 4,8	− 2,7	+ 7,5	26		
27	+24°28′	−35,1	−114,6	+164,6	− 85,1	− 1°33′	+ 3,1	+ 2,4	+ 76,6	− 75,9	+46°52′	− 0,4	− 5,2	− 4,3	+ 9,1	27		
28	+24°24′	−37,6	−114,3	+159,0	− 82,3	+ 2°11′	0	− 3,4	+ 82,2	− 78,8	+51°51′	− 1,1	− 5,6	− 5,6	+10,1	28		
29	+24°18′	−38,3	−113,9	+158,4	− 82,8	+ 7° 6′	− 4,5	−11,0	+ 90,4	− 83,9	+56°23′	− 2,5	− 5,9	− 5,8	+ 9,2	29		
30	+24° 0′	−34,1	−112,6	+160,6	− 82,1	+10° 8′	− 6,1	−15,6	+109,6	−100,4	+59°42′	− 2,8	− 6,2	− 1,1	+ 4,5	30		
31	+23°26′	−25,1	−110,1	+185,6	−100,6	+14°19′	− 10,6	−21,9	+151,7	−140,4	+62°44′	− 2,9	− 6,3	+ 5,9	− 2,5	31		
32	+22°48′	−15,0	−107,3	+178,2	− 85,9	+18°48′	− 14,3	−28,6	+174,8	−160,5	+65°50′	− 3,0	− 6,5	+10,3	− 6,8	32		
33	+22° 7′	0	−104,2	+172,1	− 67,9	+21°46′	− 16,2	−32,9	+199,0	−182,3	+68°45′	− 3,2	− 6,7	+19,7	−16,2	33		
34	+21°26′	+25,1	−101,1	+143,6	− 17,4	+24°35′	− 21,0	−36,9	+205,8	−189,9	+70°56′	− 3,4	− 6,7	+23,4	−20,1	34		
35	+20°55′	+57,2	− 98,8	+113,8	+ 42,2	+27°20′	− 42,0	−40,7	+213,4	−214,7	+73°27′	− 4,1	− 6,8	+28,8	−26,1	35		
36	+20°38′	+65,7	− 97,5	+ 70,6	+ 92,6	+28°59′	− 48,5	−42,9	+191,6	−197,2	+74°43′	− 5,3	− 6,9	+24,8	−23,2	36		
37	+20°44′	+64,7	− 98,0	+ 37,6	+125,1	+29°17′	− 53,8	−43,3	+162,7	−173,2	+74°50′	−17,6	− 6,9	+19,6	−30,3	37		
38	+21° 2′	+35,1	− 99,3	+ 19,8	+114,6	+28°22′	−168,1	−42,1	+136,2	−262,2	+74°19′	− 3,9	− 6,9	+15,4	−12,4	38		
39	+21°33′	0	−101,7	+ 47,8	+ 53,9	+25° 6′	0	−37,6	+116,0	− 78,4	+73°34′	− 2,4	− 6,8	+11,5	− 7,1	39		
40	+22° 4′	−45,1	−104,0	+ 99,2	− 40,3	+22°24′	+112,0	−33,8	+ 94,9	+ 50,9	+71°13′	− 2,1	− 6,8	+ 8,1	− 3,4	40		
41	+22°21′	−70,2	−105,2	+178,1	−143,1	+21° 5′	+ 75,6	−31,9	+ 69,6	+ 37,9	+69°13′	− 1,9	− 6,7	+ 4,0	+ 0,8	41		
41,3	+22°24′	−75,2	−105,5	+194,6	−164,3	+20°58′	+ 64,4	−31,7	+ 63,2	+ 32,9	+69° 2′	− 1,9	− 6,7	+ 2,6	+ 2,2	41,3		

Die Drehungsmomente D_s, mit welchen die Schwere in der Periode des Schwingens auf die drei Abschnitte des Beins einwirkt, sind nun in ganz entsprechender Weise, wie auf Tafel I die Effektivkräfte, auf Tafel III zusammen mit den Drehungsmomenten der Muskelkräfte durch Diagramme dargestellt worden und zwar in nicht unterbrochenem Linienzuge. Die Abszissen dieser Diagramme sind wieder der Zeit proportional, wobei die Länge von 1 mm zu der Zeit von 0,01 sec gehört. Die Ordinaten veranschaulichen dagegen die Drehungsmomente in der Weise, daß die Länge von 1 mm einem Drehungsmoment von 10 kgcm entspricht, und also die Einheit des Drehungsmomentes nur durch eine Länge von 0,1 mm dargestellt wird. Wenn auch namentlich die zum Fuß gehörenden Diagramme von Drehungsmomenten eine stärkere Vergrößerung der Ordinaten vertragen würden und im Interesse der Deutlichkeit sogar wünschenswert erscheinen ließen, so ist doch bei allen Diagrammen an dem gleichen Maßstab festgehalten worden, um dieselben mit einander in Vergleich ziehen zu können. Wollte man aber die Ordinaten aller Diagramme etwa nur auf das Doppelte vergrößern, so würden dadurch die Diagramme des Fußes auch noch nicht wesentlich deutlicher werden, dagegen die Diagramme des Oberschenkels und Unterschenkels beträchtlich an Übersichtlichkeit einbüßen. Schließlich entspricht auch der gewählte Maßstab ungefähr der Genauigkeit, welche bei dieser Untersuchung überhaupt zu erreichen war. Unter Benutzung derselben Abszissen sind auf Tafel III und, wie hier gleich im voraus bemerkt werden soll, auch auf Tafel II noch die Werte der Richtungswinkel φ durch punktiert gezeichnete Diagramme dargestellt worden, damit man imstande ist, die einzelnen Werte der Drehungsmomente auf die ihnen zukommende Haltung des ganzen Beins beziehen zu können. Bei diesen Diagrammen entspricht der Ordinatenlänge von 1 mm ein Winkel von 1^0.

Man bestätigt nun zunächst aus den Tabellen 7 bis 12 und den Diagrammen auf Tafel III, daß das Vorzeichen des Drehungsmomentes D_s der Schwere stets dem Vorzeichen des zugehörigen Richtungswinkels φ entgegengesetzt ist. Denn wenn z. B. das Diagramm des Drehungsmomentes über der Abszissenachse verläuft, so zieht das Diagramm des Richtungswinkels unter derselben hin und umgekehrt. Im übrigen ist über den Einfluß der Schwere auf die Schwingungsbewegung des Beins folgendes zu erkennen.

Digitized by Google

In einem Anfangsteil der Periode des Schwingens sucht die Schwere alle drei Abschnitte des Beins von der rechten Seite aus betrachtet im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers zu drehen. Im übrigen Verlaufe will sie dagegen eine Drehung im Sinne des Uhrzeigers hervorbringen. Diese beiden Teile der Periode sind verschieden lang. Beim Oberschenkel und Fuß ist der erste Teil kürzer als der zweite; beim Unterschenkel ist es umgekehrt.

Am Oberschenkel nimmt das positive Drehungsmoment von Anfang an, wo es einen Wert von durchschnittlich 80 kgcm besitzt, stetig ab und erreicht schon vor Beendigung des ersten Viertels der Schwingungszeit den Wert Null. Von da an nimmt das nunmehr negativ gewordene Drehungsmoment ebenfalls ziemlich gleichmäßig an absoluter Größe zu, bis es etwa gegen Ende des zweiten Drittels der Schwingungsdauer bei den Versuchen ohne Belastung einen Wert von über 120 kgcm beim rechten Bein, und über 110 kgcm beim linken Bein erreicht hat. Dann behält der rechte Oberschenkel dieses Drehungsmoment einige Zeit fast ungeändert bei, während der linke Oberschenkel allmählich auf etwa 100 kgcm in seinem Drehungsmoment zurückgeht. In dem letzten Achtel der Schwingungszeit nimmt darauf in allen Fällen das negative Drehungsmoment an absoluter Größe wieder zu, so daß es im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden einen Maximalwert von nahezu 140 kgcm beim rechten, und 120 kgcm beim linken Bein erreicht hat. Beim Gang mit Belastung zeigt das linke Bein ungefähr das gleiche Verhalten wie in den anderen Versuchen: nur erreicht es ganz zuletzt nicht dieselbe Höhe wie bei diesen. Das rechte Bein weist dagegen beim Gang mit Belastung merklich geringere absolute Werte des negativen Drehungsmomentes auf; es hat zu Ende der Periode daher auch nur einen Maximalwert von nicht viel über 100 kgcm erlangt. Dagegen übt die Schwere im Anfang der Schwingung beim Gang mit Belastung ein etwas größeres positives Drehungsmoment auf das rechte Bein aus wie beim Gang ohne Belastung.

Beim Unterschenkel besitzt das im Anfang positive Drehungsmoment der Schwere zunächst einen Wert von 60 kgcm bis 70 kgcm. Es nimmt dann noch etwas zu, bis es etwa 0,06 sec nach dem Beginn der Schwingung einen Maximalwert von über 70 kgcm erreicht hat. Darauf nimmt es nun, erst langsam, dann schneller ab und erreicht schließlich zu Ende des zweiten Drittels

Digitized by Google

der Schwingungsdauer, also viel später wie beim Oberschenkel, den Wert Null. Dann wird es negativ und nimmt dabei bis zum Beginn des letzten Achtels der Schwingungszeit an absolutem Wert zu, bis es einen Maximalwert zwischen 40 kgcm und 50 kgcm erreicht hat; zuletzt verringert es sich wieder, so daß es im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden nur noch den Wert von etwa 30 kgcm besitzt.

Das auf den Fuß ausgeübte Drehungsmoment der Schwere zeigt ein ganz ähnliches Verhalten wie das letzte; nur wechselt es viel früher, kurz nach dem Beginn des zweiten Drittels der Schwingungsdauer, sein Vorzeichen, und nimmt im übrigen nur sehr geringe Werte an. Es bleibt im ersten Teile der Periode, wo es positiv ist und demnach den Fuß im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers zu drehen sucht, unter 3 kgcm und erreicht, nachdem es das negative Vorzeichen angenommen hat, nicht ganz den Maximalwert von 7 kgcm.

Digitized by Google

IV. Die von den Effektivkräften ausgeübten Drehungsmomente.

Nachdem im I. Abschnitt die Effektivkräfte der einzelnen Abschnitte des Beins durch ihre beiden Komponenten in der Gangrichtung und der vertikalen Richtung berechnet worden sind, liegt es auf der Hand, diese Komponenten auch der Berechnung der von den Effektivkräften ausgeübten Drehungsmomente zugrunde zu legen. Man erhält zwar dann für jedes Kräftepaar ebenfalls deren zwei, gewinnt aber den Vorteil, daß sich die Arme der beiden komponierenden Kräftepaare viel leichter durch die Richtungswinkel φ ausdrücken lassen, als dies für den Arm des ursprünglichen Kräftepaares der Fall ist.

Bezeichnet man kurz die Effektivkräfte selbst durch den Buchstaben E, dem der Index oder die Indices des zugehörigen Körperabschnittes angehängt sind, und verwendet man ferner, entsprechend der früheren Festsetzung, die Buchstaben X und Z mit entsprechenden Indices für die horizontalen und vertikalen Komponenten der Effektivkräfte, so soll also für die Ableitung der Drehungsmomente D_e der Effektivkräfte ein jedes Kräftepaar $[+ E, - E]$ durch die beiden Kräftepaare $[+ X, - X]$ und $[+ Z, - Z]$ mit gleichen Indices ersetzt werden.

Auf den rechten Oberschenkel wirken nach den früheren Auseinandersetzungen im V. Teil die beiden Kräftepaare $[+ E_2, - E_2]$ und $[+ E_{4,6}, - E_{4,6}]$ ein, wobei die Kräfte $+ E_2$ und $+ E_{4,6}$ im Mittelpunkte H des Hüftgelenks, die Kraft $- E_2$ dagegen im Schwerpunkte S_2 des Oberschenkels, und die Kraft $- E_{4,6}$ im Mittelpunkte K des Kniegelenks angreifen, so wie es in der umstehenden Figur 5 zur Darstellung gebracht ist (vgl. auch die Figur 3 auf Seite 352 des V. Teils). An Stelle dieser beiden Kräftepaare treten nun die vier, ebenfalls in Figur 5 angedeuteten Kräftepaare $[+ X_2, - X_2]$, $[+ Z_2, - Z_2]$, $[+ X_{4,6}, - X_{4,6}]$ und $[+ Z_{4,6}, - Z_{4,6}]$.

Digitized by Google

Der Arm des Paares $[+ X_2, - X_2]$, dessen horizontal gerichteten Kräfte in H und S_2 angreifen, ist die Projektion der Strecke $\overline{HS_2}$ oder r_2 auf die Vertikale; seine Länge beträgt daher $r_2 \cos \varphi_2$. Beachtet man noch, daß das Kräftepaar bei positivem Richtungswinkel φ_2 den Oberschenkel im Sinne des Uhrzeigers, also nach den früheren Festsetzungen im negativen Drehungssinn

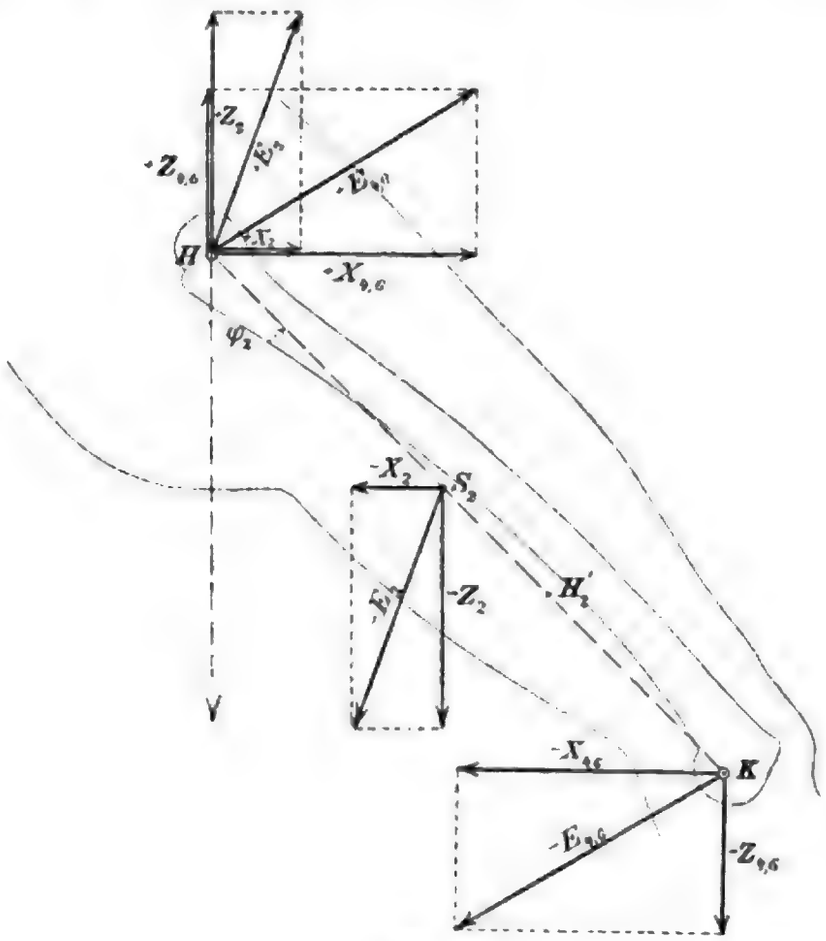


Fig. 5.

zu bewegen sucht, so erhält man für das Moment dieses ersten Kräftepaares den Wert: $- X_2 r_2 \cos \varphi_2$.

Das zweite Paar $[+ Z_2, - Z_2]$, dessen Kräfte vertikal gerichtet sind, besitzt als Arm die Projektion der Strecke $\overline{HS_2}$ auf die Horizontale; die Länge desselben ist daher $r_2 \sin \varphi_2$. Da auch dieses Kräftepaar den Oberschenkel im negativen Sinne zu drehen sucht, so ist sein Moment: $- Z_2 r_2 \sin \varphi_2$.

Die Kräftepaare $[+ X_{4,6}, - X_{4,6}]$ und $[+ Z_{4,6}, - Z_{4,6}]$ unterscheiden sich von den beiden ersten nur dadurch, daß ihre Kräfte andere Intensitäten besitzen und ihre Angriffspunkte H und K sich in der Entferung l_2 von einander befinden. Im übrigen sind

Digitized by Google

bei ihnen die Verhältnisse, was die Richtung der Kräfte und den Drehungssinn anlangt, genau dieselben. Man kann daher ihre Momente sofort anschreiben; dieselben besitzen die Werte $-X_{4,6}l_2\cos\varphi_2$ und $-Z_{4,6}l_2\sin\varphi_2$.

Das Drehungsmoment D_{c_2}, mit welchem die sämtlichen hier in Frage kommenden Effektivkräfte den Oberschenkel zu drehen suchen, ist nun gleich der Summe der Momente der einzelnen Kräftepaare. Man hat daher bei geeigneter Zusammenfassung der vier Glieder zur Berechnung dieses Drehungsmomentes in Kilogramm-Centimeter die Formeln

für den rechten Oberschenkel:

$$D_{c_2} = -(X_2 r_2 + X_{4,6} l_2)\cos\varphi_2 - (Z_2 r_2 + Z_{4,6} l_2)\sin\varphi_2$$

und für den linken Oberschenkel:

$$D_{c_3} = -(X_3 r_3 + X_{5,7} l_3)\cos\varphi_3 - (Z_3 r_3 + Z_{5,7} l_3)\sin\varphi_3 \qquad (6)$$

wobei nach den früheren Angaben für r_2 und r_3 der Wert 17,1 und für l_2 und l_3 der Wert 38,8 zu setzen ist. Die wechselnden Werte der Komponenten X_2, Z_2, $X_{4,6}$, $Z_{4,6}$; X_3, Z_3, $X_{5,7}$ und $Z_{5,7}$ der Effektivkräfte sind den Tabellen 1 bis 6, und die Werte der Richtungswinkel φ_2 und φ_3 den Tabellen 7 bis 12 der vorliegenden Abhandlung zu entnehmen. Die aus diesen Formeln für alle um je 0,01 sec zeitlich von einander entfernten Bewegungsphasen der Periode des Schwingens sich ergebenden Werte der Drehungsmomente D_{c_2} und D_{c_3} sind nun auch in den Tabellen 7 bis 12 niedergelegt worden.

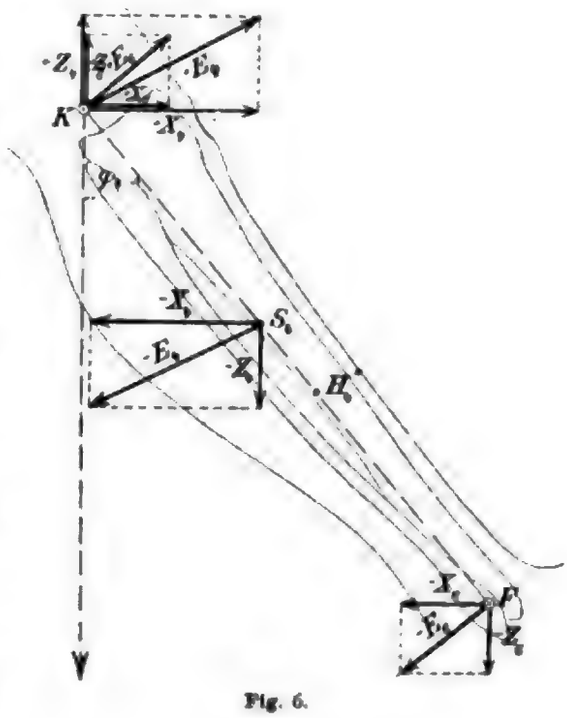


Fig. 6.

Auf den rechten Unterschenkel wirken die Effektivkräfte nach den früheren Erörterungen mit den beiden in Figur 6 dargestellten (vgl. auch Figur 5 auf Seite 358 des V. Teils) Kräftepaaren $[+E_4, -E_4]$ und $+E_6, -E_6]$ ein, bei denen die Kräfte $+E_4$ und $+E_6$ im Mittelpunkt K des Kniegelenks, die Kraft $-E_4$ dagegen

im Schwerpunkt S_4 des Unterschenkels, und die Kraft $-E_6$ im Mittelpunkt F des oberen Sprunggelenks angreifen. Diese Kräftepaare sind nun wieder durch die vier Komponenten $[+X_4, -X_4]$, $[+Z_4, -Z_4]$, $[+X_6, -X_6]$ und $[+Z_6, -Z_6]$ zu ersetzen, wie Figur 6 veranschaulicht.

Die Arme der ersten beiden Kräftepaare sind die vertikale und horizontale Projektion der Strecke $\overline{KS_4}$ von der Länge r_4; sie besitzen daher die Längen $r_4 \cos\varphi_4$ und $r_4 \sin\varphi_4$. Die Arme der beiden anderen Kräftepaare stellen die vertikale und horizontale Projektion der Strecke $\overline{KF}$ von der Länge l_4 dar; ihre Längen betragen daher $l_4 \cos\varphi_4$ und $l_4 \sin\varphi_4$. Beachtet man noch, daß alle vier Kräftepaare den Unterschenkel bei positivem Richtungswinkel φ_4 im Sinne des Uhrzeigers, also in negativem Drehungssinne zu bewegen suchen, so erhält man für die Momente derselben die Werte $-X_4 r_4 \cos\varphi_4$; $-Z_4 r_4 \sin\varphi_4$; $-X_6 l_4 \cos\varphi_4$ und $Z_6 l_4 \sin\varphi_4$. Bei geeigneter Zusammenfassung ergeben sich daher für das gesamte Drehungsmoment, mit welchem die Effektivkräfte den Unterschenkel zu drehen suchen, die Formeln

für den rechten Unterschenkel:

$$D_{e_4} = -(X_4 r_4 + X_6 l_4)\cos\varphi_4 - (Z_4 r_4 + Z_6 l_4)\sin\varphi_4$$

und für den linken Unterschenkel:

$$D_{e_5} = -(X_5 r_5 + X_7 l_5)\cos\varphi_5 - (Z_5 r_5 + Z_7 l_5)\sin\varphi_5 \qquad (7)$$

welche die Drehungsmomente in Kilogramm-Centimeter ergeben, wenn man nach den früheren Angaben für r_4 und r_5 den Wert 15,8 und für l_4 und l_5 den Wert 37,7 einsetzt. Die Werte der Komponenten X_4, Z_4, X_6, Z_6; X_5, Z_5, X_7 und Z_7 der Effektivkräfte sind aus den Tabellen 1 bis 6, und die Werte der Richtungswinkel φ_4 und φ_5 aus den Tabellen 7 bis 12 der vorliegenden Abhandlung zu ersehen. Mit Hilfe der Formeln (7) sind nun wiederum die Werte der Drehungsmomente D_{e_4} und D_{e_5} für alle um je 0,01 sec zeitlich von einander entfernten Bewegungsphasen der Periode des Schwingens berechnet und ebenfalls in die Tabellen 7 bis 12 eingetragen worden.

Auf den rechten Fuß wirkt, wie früher auseinandergesetzt wurde, nur das Kräftepaar $[+E_6, -E_6]$ ein, dessen Kräfte im Mittelpunkte F des oberen Sprunggelenks und im Schwerpunkte S_6 des Fußes angreifen, wie aus Figur 7 zu ersehen ist (vgl. auch die Figur 7 auf Seite 360 des V. Teils). Dasselbe läßt sich in die

Digitized by Google

beiden Kräftepaare $[+ X_6, - X_6]$ und $[+ Z_6, - Z_6]$ zerlegen, deren Arme in diesem Falle, wie man leicht aus Figur 7 erkennt, die Längen $r_6 \cos \varphi_6$ und $r_6 \sin \varphi_6$ besitzen, unter r_6 die Länge der Strecke $\overline{FS_6}$ verstanden. Es ist wohl nicht nötig, besonders hervorzuheben, daß diese Kräftepaare nicht mit den in gleicher Weise bezeichneten Kräftepaaren des Unterschenkels zu verwechseln sind; die Intensitäten der einzelnen Kräfte sind zwar die gleichen, aber die Arme der Kräftepaare sind verschieden, da ja die Angriffspunkte der Kräfte am Fuß ganz andere sind als am Unterschenkel.

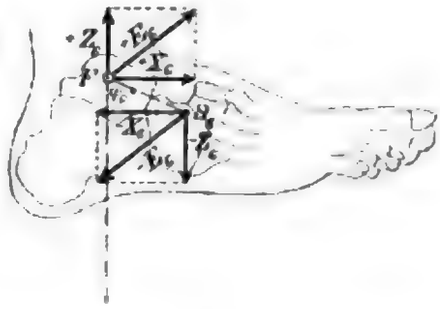


Fig. 7.

Da auch die auf den Fuß einwirkenden Kräftepaare der Effektivkräfte bei positivem Richtungswinkel φ_6 den Fuß im negativen Sinne zu drehen suchen, so hat man zur Berechnung des Drehungsmomentes der Effektivkräfte in Kilogramm-Centimeter hier die einfacheren Formeln

$$\left.\begin{aligned} &\text{für den rechten Fuß:} \quad D_{e_6} = - X_6 r_6 \cos \varphi_6 - Z_6 r_6 \sin \varphi_6 \\ &\text{und für den linken Fuß:} \quad D_{e_7} = - X_7 r_7 \cos \varphi_7 - Z_7 r_7 \sin \varphi_7 \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

wobei r_6 und r_7 nach den früheren Angaben den Wert 6,8 besitzen. Die Werte der Komponenten X_6, Z_6; X_7 und Z_7 der Effektivkräfte ergeben sich aus den Tabellen 1 bis 6, und die Werte der Richtungswinkel φ_6 und φ_7 aus den Tabellen 7 bis 12 der vorliegenden Abhandlung. Die mit Hilfe dieser Formeln (8) berechneten Werte der Drehungsmomente D_{e_6} und D_{e_7} für alle um je 0,01 sec zeitlich von einander abstehenden Bewegungsphasen der Periode des Schwingens sind nun ebenfalls in den Tabellen 7 bis 12 niedergelegt.

Um einen deutlichen Überblick über den Einfluß der Effektivkräfte auf die Schwingungsbewegung des Beins zu vermitteln, sind auf Tafel II die Diagramme für die Drehungsmomente D_e der Effektivkräfte aufgezeichnet worden und zwar durch einen Linienzug mit kurzen Unterbrechungen. Auch hier entspricht einem Millimeter auf der Abszissenachse die Zeit von 0,01 sec, und einem Millimeter auf der Ordinatenachse ein Drehungsmoment von 10 kgcm.

Vergleicht man diese Diagramme mit denen für die Drehungsmomente der Schwere auf Tafel III, so erkennt man zunächst

Digitized by Google

auf den ersten Blick, daß die ersteren fast während der ganzen Periode des Schwingens größere Ordinaten besitzen als die letzteren, zu welchem Resultate man natürlich auch schon unmittelbar durch die Betrachtung der Tabellen 7 bis 12 geführt wird. Daraus geht also hervor, daß die Effektivkräfte einen zum Teil bedeutend größeren Einfluß auf die Drehung der einzelnen Abschnitte des Beins bei der Schwingungsbewegung ausüben als die Schwere, wobei allerdings nicht außer Acht zu lassen ist, daß die Effektivkräfte im Grunde erst den auf die Körperteile direkt einwirkenden Kräften, unter denen die Schwere eine hervorragende Rolle einnimmt, ihr Dasein verdanken.

Was ferner den Drehungssinn anlangt, in dem die Effektivkräfte in den verschiedenen Zeitmomenten auf die einzelnen Abschnitte des Beins drehend einwirken, so kann man weiterhin konstatieren, daß derselbe fast überall dem der Kräftepaare der Schwere entgegengesetzt ist. Bei allen drei Abschnitten des Beins suchen die Effektivkräfte in einem ersten Teil der Periode des Schwingens eine negative Drehung, also eine solche im Sinne des Uhrzeigers hervorzubringen, in der übrigen Zeit wollen sie dagegen mit ganz geringen Ausnahmen im positiven Sinne, d. h. also umgekehrt wie der Uhrzeiger drehen. Die beiden Teile, in welche hierdurch die ganze Schwingungszeit zerlegt wird, sind beim Unterschenkel ziemlich genau gleich groß. Beim Oberschenkel ist dagegen der erste viel kleiner als der zweite, so daß sich die beiden Zeitabschnitte annähernd wie 1 : 3 verhalten. Beim Fuß ist dagegen der erste viel größer als der zweite, so daß sich jetzt die beiden Zeitabschnitte umgekehrt, also annähernd wie 3 : 1 verhalten.

Beim Oberschenkel besitzt das negative Drehungsmoment zu Anfang der Schwingung den Durchschnittswert von 250 kgcm; es nimmt darauf sehr schnell an Größe ab, so daß es schon zu Anfang des zweiten Viertels der Schwingungsdauer zu Null geworden ist. Nun wird es positiv und wächst ziemlich schnell, bis es wieder einen Maximalwert von durchschnittlich 250 kgcm erreicht hat. Dann nimmt es wieder ab, in einigen Fällen sogar so stark, daß es noch einmal zu Null wird und für kurze Zeit den Drehungssinn umkehrt; es wächst dann aber auch wieder und schwankt überhaupt in seiner Größe hin und her bis zum Moment des Aufsetzens des Fußes auf den Boden. Zuletzt besitzt es einen Durchschnittswert von nicht viel über 100 kgcm.

Beim Unterschenkel beträgt die anfängliche Größe des negativen Drehungsmomentes nur etwas über 100 kgcm; dieselbe nimmt aber in den ersten 0,03 sec noch über 150 kgcm hinaus zu und vermindert sich erst dann, teils schneller, teils langsamer, bis sie endlich in der Mitte der Schwingungszeit den Wert Null erreicht hat. Darauf nimmt das nun positiv gewordene Drehungsmoment wieder zu, und zwar mit wechselnder Geschwindigkeit, bis es einen Maximalwert von 250 kgcm und mehr erreicht hat; dies findet etwa in der Mitte des letzten Viertels der Schwingungszeit statt. Nun nimmt aber die Größe des Drehungsmomentes in den noch übrig bleibenden 0,05 sec so rasch ab, daß sie im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden im Durchschnitt zu Null geworden ist.

Das auf den Fuß einwirkende Drehungsmoment der Effektivkräfte besitzt viel geringere Werte. Es ist auch im Anfang negativ in der Größe von etwas über 20 kgcm. Auf dieser Höhe bleibt es etwa während 0,03 mit einer geringen Schwankung nach oben stehen und vermindert sich dann, erst etwas schneller, später aber ziemlich langsam, bis es gegen Ende des dritten Viertels der Schwingungszeit endlich auf den Wert Null herabgesunken ist. Nun nimmt das positiv gewordene Drehungsmoment aber verhältnismäßig schnell zu, bis es ebenfalls in der Mitte des letzten Viertels der Schwingungszeit seinen Maximalwert von durchschnittlich 40 kgcm erreicht hat. In dem nun folgenden letzten Abschnitt der Periode des Schwingens nimmt es dann ebenso schnell wieder ab, so daß es in den meisten Fällen schon 0,02 sec vor dem Aufsetzen des Beins auf den Fußboden wieder zu Null geworden ist und darauf noch einmal den Drehungssinn ändert, ohne jedoch dabei noch sehr große Werte zu erlangen. Der Endwert des negativen Drehungsmomentes liegt unter 10 kgcm.

Digitized by Google

V. Die von den inneren Kräften ausgeübten Drehungsmomente.

Nachdem die Drehungsmomente der Schwere und der Effektivkräfte gewonnen worden sind, bedarf es nur noch der Kenntnis der Produkte $mx^2\varphi''$ für die drei Abschnitte des Beins, um die von den inneren Kräften, insbesondere den Muskeln, in der Periode des Schwingens ausgeübten Drehungsmomente mit Hilfe der im V. Teil ausführlich angegebenen Bewegungsgleichungen berechnen zu können. Die Trägheitsradien x lassen sich für den Oberschenkel und Unterschenkel aus den Längen dieser Körperteile, und für den Fuß aus dem Abstand seines Schwerpunktes von der Achse des oberen Sprunggelenks leicht ableiten. Es ist nämlich in einer früheren Arbeit[1]) auf empirischem Wege nachgewiesen worden, daß die Trägheitsradien zu diesen Längen in einem ganz bestimmten Verhältnis stehen.

Das Verhältnis des Trägheitsradius x_2 des rechten Oberschenkels zu der Länge l_2 desselben hat den Wert 0,31. Da nach dem früheren $l_2 = 38{,}8$ cm betrug, so ergibt sich demnach für den Trägheitsradius x_2 der Wert 38,8 cm · 0,31 oder 12,03 cm. Der gleiche Wert ist für den Trägheitsradius x_3 des linken Oberschenkels anzunehmen.

Das Verhältnis des Trägheitsradius x_4 des rechten Unterschenkels zu der Länge l_4 desselben besitzt durchschnittlich den Wert 0,25. Die Länge l_4 betrug 37,7 cm; infolgedessen ist der Trägheitsradius x_4 des Unterschenkels 37,7 cm · 0,25 oder 9,43 cm lang, welcher Wert sowohl für den rechten wie für den linken Unterschenkel gilt.

Das Verhältnis des Trägheitsradius x_6 des rechten Fußes zu dem Abstand r_6 seines Schwerpunktes von der Achse des oberen Sprunggelenks berechnet sich aus den Angaben der Tabelle auf

---

1) Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Band XVIII Nr. VIII. 1892. Seite 460 und 461.

Digitized by Google

Seite 456 jener Arbeit zu 0,89, wenn der Rechnung die Durchschnittswerte von 5,94 cm und 6,67 cm für $\varkappa$ und r zugrunde gelegt werden. Da nun bei unserem Versuchsindividuum r_6 gleich 6,8 cm war, so resultiert hieraus für $\varkappa_6$ der Wert von $6{,}8 \cdot 0{,}89$ oder 6,05 cm, welcher für beide Füße Geltung besitzt.

Aus den Werten der Trägheitsradien $\varkappa$ erhält man nun leicht die Werte der Trägheitsmomente $m\varkappa^2$, wenn man beachtet, daß in dem der Rechnung zugrunde gelegten Maßsystem die Massen des Oberschenkels, Unterschenkels und Fußes bezüglich durch die Zahlen 0,00693; 0,00315 und 0,00107 bestimmt sind. Es ergibt sich für

das Trägheitsmoment des rechten und linken Oberschenkels:

$$m_2\varkappa_2^2 = m_3\varkappa_3^2 = 1{,}0029,$$

das Trägheitsmoment des rechten und linken Unterschenkels:

$$m_4\varkappa_4^2 = m_5\varkappa_5^2 = 0{,}2801,$$

das Trägheitsmoment des rechten und linken Fußes:

$$m_6\varkappa_6^2 = m_7\varkappa_7^2 = 0{,}0392.$$

Mit diesen Größen waren nun die in den Tabellen 6 bis 11 auf den Seiten 376 bis 381 des V. Teils niedergelegten Werte der entsprechenden Winkelbeschleunigungen φ'' zu multiplizieren. Die Resultate dieser Rechnung sind mit in die Tabellen 7 bis 12 der vorliegenden Abhandlung eingetragen worden; sie beziehen sich auf dieselbe Maßeinheit, wie die Angaben über die Drehungsmomente D, bedeuten also gleichfalls kgcm, da ja 1 kg hier nicht, wie im absoluten Maßsystem, die Einheit einer Masse, sondern die Einheit einer Kraft darstellt. Es sind also diese Produkte aus den Trägheitsmomenten und Winkelbeschleunigungen Größen von derselben Dimension, wie die Drehungsmomente; sie lassen sich daher auch mit diesen in ihrer Größe vergleichen. Um einen solchen Vergleich zu ermöglichen, sind auf Tafel II auch die Diagramme für die Produkte aus den Trägheitsmomenten und Winkelbeschleunigungen in derselben Weise wie die Diagramme für die Drehungsmomente mit aufgezeichnet worden und zwar in nicht unterbrochenem Linienzuge. Auf eine ausführliche Beschreibung derselben kann um so eher verzichtet werden, als das Verhalten dieser Größen im Verlaufe der Schwingung des Beins der Art nach genau übereinstimmt mit dem schon im V. Teil

Digitized by Google

geschilderten Verhalten der Winkelbeschleunigungen φ'', denen die Größen $mx^2\varphi''$ ja direkt proportional sind.

Mit der Ableitung der Drehungsmomente D_s und D_e und der Produkte $mx^2\varphi''$ sind nun alle Vorbedingungen erfüllt, um die Berechnung der von den inneren Kräften, insbesondere den Muskeln auf die einzelnen Abschnitte des Beins ausgeübten Drehungsmomente D_m ausführen zu können. Die für diesen Zweck zu verwendenden Formeln lauten nach den ausführlichen Auseinandersetzungen im V. Teil

$$
\begin{aligned}
&\text{für den rechten Oberschenkel:} && D_{m_2} = m_2 x_2^2 \varphi_2'' - D_{s_2} - D_{e_2} \\
&\text{für den linken Oberschenkel:} && D_{m_3} = m_3 x_3^2 \varphi_3'' - D_{s_3} - D_{e_3} \\
&\text{für den rechten Unterschenkel:} && D_{m_4} = m_4 x_4^2 \varphi_4'' - D_{s_4} - D_{e_4} \\
&\text{für den linken Unterschenkel:} && D_{m_5} = m_5 x_5^2 \varphi_5'' - D_{s_5} - D_{e_5} \\
&\text{für den rechten Fuß:} && D_{m_6} = m_6 x_6^2 \varphi_6'' - D_{s_6} - D_{e_6} \\
&\text{für den linken Fuß:} && D_{m_7} = m_7 x_7^2 \varphi_7'' - D_{s_7} - D_{e_7},
\end{aligned}
\qquad (9)
$$

wobei die Werte aller auf der rechten Seite der Formeln stehenden Größen sich für die sämtlichen um je 0,01 sec zeitlich von einander abstehenden Bewegungsphasen der Periode des Schwingens in den Tabellen 7 bis 12 der vorliegenden Abhandlung aufgezeichnet finden. Daselbst sind nun auch die mit Hilfe der Formeln (9) berechneten Werte[1]) der Drehungsmomente D_m eingetragen, so daß also in der Tat in den Tabellen 7 bis 12 die Werte der sämtlichen für die Kinetik des Beinschwingens in Betracht kommenden Größen vereinigt sind.

Die Diagramme für die von den inneren Kräften ausgeübten Drehungsmomente D_m finden sich in gleicher Weise wie die übrigen Diagramme auf Tafel III aufgezeichnet und zwar mit durchbrochenem Linienzuge. Es entspricht also auch bei diesen jedem Millimeter auf der horizontalen Abszissenachse die Zeit von 0,01 sec, und jedem Millimeter auf der vertikalen Ordinatenachse das Drehungsmoment von 10 kgcm. Die Diagramme für die Drehungsmomente D_m sind gerade mit denen für die Drehungsmomente D_s der Schwere auf einer Tafel vereinigt worden, weil

1) Die zum Teil sehr umfangreichen Rechnungen, welche die Ableitung der verschiedenen Drehungsmomente D_s, D_e und D_m notwendig machte, sind von mir im Archiv der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften deponiert worden.

Digitized by Google

man auf diese Weise am leichtesten einen Einblick in das Ineinandergreifen von Schwere und inneren Kräften bei der Schwingungsbewegung des Beins gewinnt.

Die Drehungsmomente D_m der inneren Kräfte sind im Laufe der Untersuchung vielfach kurz als die von den Muskeln ausgeübten Drehungsmomente bezeichnet worden. Es darf das nun nicht so aufgefaßt werden, daß die inneren Kräfte, welche bei der Schwingung des Beins wirksam sind, ausschließlich von der willkürlichen Kontraktion von Muskeln des Beins herrühren. Es werden ja bekanntlich im allgemeinen bei jeder Gliederbewegung gewisse Muskeln passiv gedehnt. Infolge ihrer rein physikalischen Elastizität üben sie daher in genau derselben Weise innere Kräfte auf das Bein aus, als wenn sie aktiv zur Kontraktion gebracht worden wären. Diese passiver Anspannung der Muskeln entspringenden inneren Kräfte unterscheiden sich nur im allgemeinen durch ihre geringere Intensität von den durch willkürliche Kontraktion hervorgerufenen; sie wirken dagegen mit Drehungsmomenten von ganz derselben Art wie bei der willkürlichen Kontraktion der Muskeln auf die einzelnen Abschnitte des Beins ein.

Es kann weiterhin der Fall eintreten, daß durch die Bewegung der einzelnen Glieder gegen einander gewisse Hemmungsbänder für die Gelenkbewegung angespannt werden. Unter Hemmungsbändern versteht man bekanntlich solche Bänder, welche die Exkursionen im Gelenk nach der einen oder anderen Seite hin beschränken. Am Hüftgelenk stellt zum Beispiel das Ligamentum iliofemorale ein solches Hemmungsband für die Rückwärtsdrehung und das Ligamentum teres femoris ein Hemmungsband für die Adduktion des Oberschenkelknochens dar. Wenn nun die Bewegung in einem Gelenk soweit nach einer bestimmten Richtung fortgeschritten ist, daß ein Hemmungsband angespannt wird, so wirkt das letztere bei seiner unter Umständen sehr großen Spannung auch in derselben Weise wie ein sich kontrahierender Muskel mit Drehungsmomenten auf die beiden durch das Gelenk verbundenen Körperteile ein. Schließlich kann auch die durch die Gelenkbewegung hervorgebrachte Dehnung irgend eines Gewebes, welches, wie z. B. die Haut im physikalischen Sinne Elastizität besitzt, zu Drehungsmomenten von allerdings gewöhnlich nicht sehr großer Intensität für die verschiedenen Körperteile Veranlassung geben. Alle diese Drehungsmomente fallen unter den Begriff der Drehungs-

Digitized by Google

momente innerer Kräfte und sind daher, wenn sie vorhanden sind, Bestandteile des Drehungsmomentes D_m.

Es ist leicht einzusehen, daß die durch passive Anspannung von Hemmungsbändern oder Geweben hervorgerufenen inneren Kräfte der Gelenkbewegung entgegenwirken werden, der sie ihr Dasein verdanken. Für die passiv angespannten Muskeln trifft dies auch zu, wenn sie eingelenkig sind; dagegen können sehr wohl mehrgelenkige Muskeln, wenn sie passiv gedehnt werden, im einen oder anderen der Gelenke, über welche sie hinwegziehen (natürlich nicht gleichzeitig in allen) eine Drehung hervorzubringen suchen, welche in demselben Sinne stattfindet, wie die schon vorhandene Gelenkbewegung.

Es fragt sich nun, in wie weit außer den Spannungen der Muskeln solche von Hemmungsbändern und Geweben modifizierend in die Schwingungsbewegung des Beins tatsächlich eingreifen werden. Da der Einfluß der Gewebsspannungen im Vergleich zu den Einwirkungen der anderen Kräfte jedenfalls sehr gering zu veranschlagen ist, so kann man ihn in Anbetracht der übrigen unvermeidlichen Fehlerquellen der Untersuchung und der vereinfachenden Annahmen, zum Beispiel über die Art der Gelenkbewegung im Kniegelenk, außer Betracht lassen. Was ferner das Eingreifen von Hemmungsbändern anlangt, so kann ein solches überhaupt nur in den extremen Gelenkstellungen stattfinden.

Für das Hüftgelenk läßt sich kaum annehmen, daß im Moment des Ablösens des Fußes vom Boden das Ligamentum iliofemorale stark angespannt ist, weil die Längsachse des Oberschenkels, wie aus den Angaben im III. Teil dieser Untersuchungen über den Gang des Menschen (vgl. daselbst die Tabellen 2, 3 und 4 auf den Seiten 149 bis 153 und die Diagramme auf den Tafeln V, VI und VII) hervorgeht, zu Beginn der Schwingungsbewegung nicht mehr so weit nach hinten gegen die Vertikale geneigt ist, als das im Anfang der vorhergehenden Periode des Aufstützens beider Beine der Fall war. Es läßt sich jedoch hierüber keine definitive Entscheidung treffen, so lange man nicht weiß, wie dabei gleichzeitig das Becken gestellt ist. Wie dem auch sei, so könnte doch höchstens dieses Band ganz im Anfang der Periode des Schwingens durch seine passive Spannung ein Drehungsmoment auf den Oberschenkel, und zwar im Sinne einer Drehung umgekehrt wie der Uhrzeiger, also im positiven Drehungssinn ausüben.

Wie sich aus den im III. Teil niedergelegten Untersuchungen weiterhin ergibt, nimmt das Kniegelenk ungefähr in der Mitte des letzten Viertels der Schwingungszeit, genauer 0,07 sec vor dem Aufsetzen des Beins auf den Fußboden, für einen Moment nahezu die äußerste Streckstellung ein. Infolgedessen werden in diesem Augenblick Fasern der Hemmungsbänder für die Streckung des Kniegelenks, als welche nach den Untersuchungen der Brüder WEBER[1]) die Seitenbänder des Kniegelenks aufzufassen sind, angespannt. Diese Seitenbänder verhalten sich aber bei ihrer Spannung gerade so wie ein auf der Beugeseite über das Kniegelenk hinwegziehender eingelenkiger Muskel. Sie müssen daher auf den Oberschenkel mit einem positiven Drehungsmoment, auf den Unterschenkel dagegen mit einem negativen Drehungsmoment einwirken.

Ob auch das Fußgelenk in der Periode des Schwingens in extreme Stellungen gebracht wird, läßt sich aus den photographischen Aufnahmen des Ganges deshalb nicht mit Sicherheit erkennen, weil die Anzahl der Punkte des Fußes, für welche die Bewegungsbahnen während des Gehens registriert wurden, nicht ausreicht, um die Gelenkbewegungen in den einzelnen Teilen des Fußgelenks genau feststellen zu können. Wenn überhaupt Hemmungsbänder des Fußgelenks in der Periode des Schwingens passiv angespannt werden, so findet das voraussichtlich nur im Moment des Ablösens des Fußes vom Boden statt. Im übrigen Verlauf der Schwingungsbewegung wird es dagegen zu merklichen Spannungen von Hemmungsbändern, welche mit entgegengesetzt gerichteten Drehungsmomenten auf Unterschenkel und Fuß einwirken könnten, nicht kommen.

1) Vgl. Die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge § 70.

Digitized by Google

VI. Über die Tätigkeit der Muskeln bei der Schwingung des Beins.

Abgesehen von den wenigen Momenten, in denen Hemmungsbänder in die Schwingungsbewegung überhaupt nur eingreifen können, sind nun die Drehungsmomente D_m der inneren Kräfte ausschließlich der Wirkung aktiv sich kontrahierender und passiv angespannter Muskeln zuzuschreiben; deshalb sollen dieselben im folgenden auch kurz als die Drehungsmomente der Muskeln bezeichnet werden, wie es schon im früheren zuweilen geschehen ist.

Vergleicht man nun die durchbrochen gezeichneten Diagramme für die Drehungsmomente der Muskeln auf Tafel III mit den auf derselben Tafel in ununterbrochenem Linienzuge aufgezeichneten Drehungsmomenten der Schwere, oder betrachtet die Tabellen 7 bis 12, so erkennt man zunächst auf den ersten Blick, daß die Muskeln insgesamt fast im ganzen Verlaufe der Schwingungsbewegung mit viel größeren Drehungsmomenten auf die drei Abschnitte des Beins wirken als die Schwere.

Es kann daher von einer auch nur angenäherten Gültigkeit der Weberschen Ansicht, daß beim Gehen dasjenige Bein, welches jeweils nicht mit dem Fußboden in Berührung ist, durch seine eigene Schwere getrieben, wie ein Pendel von hinten nach vorn schwingt, gar keine Rede sein. Wäre die Schwingungsbewegung ausschließlich durch die Schwere hervorgebracht, so müßte die Untersuchung für die sämtlichen Drehungsmomente D_m den Wert Null oder, in Anbetracht der unvermeidlichen Fehlerquellen, doch wenigstens so kleine Werte ergeben haben, daß dieselben gegenüber den Werten der Drehungsmomente der Schwere vernachlässigt werden könnten. Man kann auch nicht einwenden, daß infolge der Fehlerquellen auf dem angegebenen Wege die Frage überhaupt nicht zu entscheiden ist; denn die große Übereinstimmung, welche die Diagramme für die Drehungsmomente der Muskeln trotz des langen und mühsamen Weges, auf dem sie abgeleitet

sind, bei den sechs verschiedenen, vollständig von einander unabhängigen Schwingungsbewegungen noch aufweisen, ist ein sicheres Kennzeichen dafür, daß man es hier mit einwandsfreien Resultaten zu tun hat.

Damit ist also der exakte Beweis erbracht, daß die Schwingung des Beins beim Gehen keine reine Pendelschwingung ist, sondern im Gegenteil in noch stärkerem Maße der Einwirkung von Muskeln als dem Einflusse der Schwere zuzuschreiben ist.

Die Tabellen 7 bis 12 und die Diagramme auf Tafel III geben nun aber auch Aufschluß über die Arten der Muskelgruppen, welche die Schwingungsbewegung des Beins beim Gehen hervorbringen, so wie über die Größe der resultierenden Drehungsmomente, mit denen dieselben bei gemeinsamer Tätigkeit auf die drei Abschnitte des Beins einwirken. Dagegen läßt sich aus den Werten der Drehungsmomente D_m allein noch nicht mit voller Sicherheit entscheiden, welche einzelnen Muskeln dabei in Betracht kommen. Man kommt aber durch die Resultate der vorliegenden Untersuchung der Lösung dieser Frage einen wesentlichen Schritt näher, indem man durch dieselben erfährt, welches Drehungsbestreben die vorläufig noch nicht genau gekannten Muskeln zusammen auf Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß in jedem einzelnen Moment ausüben. Man hat sich infolgedessen gar nicht mehr mit der durch die Muskeln hervorgebrachten Schwingungsbewegung selbst zu beschäftigen, sondern nur noch eine Reihe von statischen Aufgaben zu lösen, welche dem Problem der Bestimmung aller Muskeln, die sich zur Hervorbringung einer bestimmten Ruhehaltung des Körpers kontrahieren müssen, durchaus äquivalent sind. Es wird also durch die vorliegende Arbeit die Bewegung selbst aus der weiteren Betrachtung eliminiert und die Untersuchung aus dem Gebiete der Kinetik in das der Statik hinübergeleitet.

Aus den Tabellen 7 bis 12 und der Tafel III ergeben sich nun folgende Resultate über die Tätigkeit der Muskeln in der Periode des Schwingens.

Im Anfang der Schwingung wirken die Muskeln auf den Oberschenkel mit positivem Drehungsmoment ein, d. h. also sie suchen denselben im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers zu drehen. Die Muskeln unterstützen also zunächst die Schwere in ihrem Be-

Digitized by Google

streben, den Oberschenkel mit seinem unteren Ende nach vorn zu drehen und entwickeln dabei, wie man aus Tafel III erkennt, ein Drehungsmoment, welches im Durchschnitt mehr als doppelt so groß wie das von der Schwere ausgeübte ist. Die Schwere reicht also nicht aus, um die Drehung des Oberschenkels, so wie sie beim Schwingen des Beins zu Anfang stattfindet, hervorzubringen. Bei alleiniger Wirkung der Schwere würde die anfängliche Drehung des Oberschenkels vielleicht auch in demselben Sinne erfolgen, was indes durchaus nicht unbedingt nötig wäre, aber ihre Winkelgeschwindigkeit würde dann viel geringer sein.

Man kann sich an dem Modell eines Doppelpendels, das man sich etwa mit Hilfe zweier Lineale selbst hergestellt hat, davon überzeugen, daß bei der reinen Pendelschwingung aus einer der Anfangshaltung des schwingenden Beins entsprechenden Stellung heraus das Glied, welches dem Aufhängepunkt am nächsten liegt, im Anfang unter Umständen sogar von der Vertikalen entfernt, also dem Zuge der Schwere entgegenbewegt werden kann, wenn nur das zweite Glied genügend schwer ist. Wird dagegen das proximale Glied gleich zu Anfang gegen die Vertikale hin bewegt, so kann man wenigstens konstatieren, daß es im allgemeinen mit geringerer Winkelgeschwindigkeit derselben zustrebt als das distale Glied des Doppelpendels. Das letztere bewegt sich dagegen in der Regel gleich von Anfang an so, daß es seinen Winkel mit der Vertikalen verkleinert. Vergleicht man damit das Verhalten des schwingenden Beins, so kann man schon dadurch zu dem Resultat gelangen, daß außer der Schwere noch andere Kräfte im Anfang auf das Bein einwirken müssen. Denn zu Anfang der Periode des Schwingens dreht sich ja der Unterschenkel zunächst rückwärts, während der Oberschenkel gleich von vorn herein sich mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit der vertikalen Stellung nähert. Es ist auch leicht zu verstehen, daß Oberschenkel und Unterschenkel sich im Anfang der Drehung gar nicht anders verhalten können, wenn bei der Schwingung der Fuß nicht gleich wieder auf den Fußboden auftreffen soll.

Es fragt sich nun, welche Muskeln ein solches positives Drehungsmoment zu Anfang der Schwingung auf den Oberschenkel ausüben können. Es sind dabei vier Arten von Muskeln in Betracht zu ziehen: Erstens Muskeln, welche nur über das Hüft-

Digitized by Google

gelenk, zweitens solche, die sowohl über das Hüftgelenk als auch über das Kniegelenk, drittens solche, die nur über das Kniegelenk und endlich viertens solche, die außer über das Kniegelenk auch noch über das Fußgelenk hinwegziehen. Alle vier Arten von Muskeln üben, wenn sie gespannt sind, ein Drehungsmoment auf den Oberschenkel aus.[1]) Damit die Muskeln der ersten Art mit positivem Drehungsmoment auf den Oberschenkel einwirken, müssen sie vor dem Hüftgelenk über dasselbe hinwegziehen, wie z. B. der M. iliopsoas. Unter den Muskeln der zweiten Art üben bei der Anfangsstellung des Beins, in welcher die Längsachse des Unterschenkels mit der Verlängerung der Längsachse des Oberschenkels einen Winkel von abgerundet 30° bildet, nach den Tabellen 16 bis 20 auf den Seiten 540 bis 542 der Arbeit über das statische und kinetische Maß für die Wirkung eines Muskels[2]) von den dort angeführten Muskeln nur der M. gracilis, also nicht etwa, wie man denken könnte, der M. rectus femoris, ein beträchtliches positives Drehungsmoment auf den Oberschenkel aus. Unter den Muskeln der dritten Art wirken nur solche mit positivem Drehungsmoment auf den Oberschenkel ein, welche über das Kniegelenk auf der Beugeseite desselben hinwegziehen, wie z. B. der kurze Kopf des M. biceps femoris. Endlich müssen auch die Muskeln der vierten Art hinter dem Kniegelenk vorbeiziehen, wenn sie ein positives Drehungsmoment auf den Oberschenkel ausüben sollen Das ist aber bei dem einzigen existierenden Muskel der vierten Art, dem M. gastrocnemius tatsächlich der Fall.

Die angeführten Muskeln kommen also vor allen Dingen in Frage, wenn man entscheiden will, welche zu Anfang der Schwingungsbewegung zur Kontraktion gebracht worden sind. Einen Fingerzeig hierfür könnten vielleicht die Werte der gleichzeitig auf den Unterschenkel und den Fuß ausgeübten Drehungsmomente geben. Aus den Diagrammen auf Tafel III oder aus den Tabellen 7 bis

---

1) Man vergleiche hierzu meine Arbeit über: Das statische und das kinetische Maß für die Wirkung eines Muskels, erläutert an ein- und zweigelenkigen Muskeln des Oberschenkels. Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Band XXVII Nr. V. 1902.

2) Es ist zu beachten, daß in diesen Tabellen die Drehungsmomente gerade mit entgegengesetzten Vorzeigen versehen sind, als es für die vorliegende Untersuchung festgesetzt wurde. Die von der rechten Seite aus betrachtet im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers wirkenden Drehungsmomente tragen also dort das negative Vorzeichen.

Digitized by Google

12 ist zu erkennen, daß im Anfang der Schwingung sowohl der Unterschenkel wie der Fuß ebenfalls positive Drehungsmomente von den Muskeln erhalten. Es stellt sich nun aber heraus, daß sowohl der M. gracilis, als auch der kurze Kopf des M. biceps femoris in allen Stellungen des Kniegelenks nur negative Drehungsmomente auf den Unterschenkel ausüben, und der M. gastrocnemius auf den Fuß stets mit negativem Drehungsmoment einwirkt, während er am Unterschenkel allerdings ein positives Drehungsmoment hervorbringt. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß in erster Linie sogenannte Beuger des Oberschenkels, wie der M. iliopsoas, sich im Anfang der Schwingung kontrahiert haben.[1]) Es ist dies zunächst nur wahrscheinlich gemacht, keineswegs aber damit schon sicher erwiesen. Denn es wäre immerhin möglich, daß die negativen Drehungsmomente, mit denen die Mm. gracilis und biceps femoris caput breve auf den Unterschenkel einwirken, und auch das negative Drehungsmoment des M. gastrocnemius für den Fuß durch positive Drehungsmomente anderer Muskeln ausgeglichen werden. Überhaupt muß man sich immer klar machen, daß die hier angegebenen Werte der Drehungsmomente nicht von einem einzigen Muskel herzurühren brauchen; sie geben nur das resultierende Drehungsmoment aller etwa einwirkenden Muskeln an. Es ist daher außerdem gar nicht ausgeschlossen, daß auch Muskeln in Tätigkeit sind, welche für sich ein Drehungsmoment ausüben, dessen Vorzeichen dem des resultierenden Drehungsmomentes entgegengesetzt ist. Es müssen nur dann die im anderen Sinne wirkenden Muskeln mit um so größeren Drehungsmomenten einwirken, um dieses wieder auszugleichen. Der eben erwähnte Fall tritt z. B. bei der rein elastischen Spannung von Antagonisten ein. Es wird sich ferner weiter unten zeigen, daß voraussichtlich auch der M. rectus femoris im Anfang der Schwingung zur Kontraktion kommt, trotzdem er auf den Oberschenkel in der Anfangsstellung des Beins mit einem, allerdings nicht sehr großen, negativen Drehungsmoment einwirkt. (Vgl. Tabelle 16 der oben angeführten Arbeit.)

---

1) Dafür spricht auch die Beobachtung von DUCHENNE, daß Individuen, bei denen die sogenannten Beugemuskeln des Oberschenkels gelähmt sind, nicht mehr die Schwingung des Beins nach vorn vollziehen können, während die Lähmung anderer Muskeln des Oberschenkels eine solche Folge nicht nach sich zieht. (Vgl. Physiologie der Bewegungen. Deutsch von C. WERNICKE Seite 285.)

Digitized by Google

Nachdem die Schwingung des Beins begonnen hat, nimmt nun das auf den Oberschenkel ausgeübte Drehungsmoment der Muskeln sehr schnell ab, bis es ungefähr am Ende des ersten Drittels der Schwingungszeit zu Null geworden ist. In diesem Moment wirken also entweder dann keine Muskeln mehr, oder die in Kontraktion, bezüglich elastischer Spannung, befindlichen Muskeln halten sich in ihrer Wirkung auf den Oberschenkel das Gleichgewicht. Dieser Zustand dauert sogar einige Zeit, etwa 0,04 sec lang an, bis dann das Drehungsmoment negativ wird und wieder ziemlich rasch an Intensität zunimmt.

Ein negatives Drehungsmoment üben von den nur über das Hüftgelenk ziehenden Muskeln auf den Oberschenkel die sogenannten Rückwärtsstrecker desselben, wie der M. glutaeus maximus, aus. Unter den Muskeln, welche über das Hüftgelenk und Kniegelenk hinwegziehen, kommen nach der oben angeführten Untersuchung über die Muskeln des Oberschenkels für ein negatives Drehungsmoment in Frage der M. rectus femoris, trotzdem derselbe auf der Vorderseite das Hüftgelenk passiert, ferner der lange Kopf des M. biceps femoris, der M. semimembranosus und der M. semitendinosus. Endlich sind hier vor allen Dingen die allein über das Kniegelenk hinwegziehenden Mm. vastus lateralis, vastus intermedius und vastus medialis zu erwähnen. Da nun gleichzeitig das auf den Unterschenkel ausgeübte Drehungsmoment ebenfalls negatives Vorzeichen besitzt, so kommen von allen diesen Muskeln in erster Linie diejenigen in Frage, welche sowohl den Oberschenkel wie den Unterschenkel im Sinne des Uhrzeigers zu drehen suchen. Es sind das die zweigelenkigen Mm. biceps femoris caput longum, semimembranosus und semitendinosus. Welche von diesen sich in der angegebenen Zeit kontrahieren, läßt sich natürlich nicht allein aus der Kenntnis des resultierenden Drehungsmomentes entscheiden.

Das am Oberschenkel wirkende negative Drehungsmoment erreicht gegen Ende des dritten Viertels der Schwingungszeit einen Maximalwert; bis dahin müssen also die betreffenden Muskeln sich mit zunehmender Kraft kontrahiert haben. Im letzten Viertel der Schwingungszeit nimmt nun aber das negative Drehungsmoment ganz plötzlich wieder an Intensität ab, so daß es sehr bald den Wert Null erreicht hat und dann sogar zum Teil sehr stark positiv wird. Hierbei verhalten sich zwar die Drehungsmomente in den sechs untersuchten Fällen nicht ganz übereinstimmend,

Digitized by Google

aber immerhin ist bei allen eine plötzliche positive Schwankung in dem gleichen Sinne zu konstatieren. Achtet man gleichzeitig auf das am Unterschenkel wirksame Drehungsmoment, so erkennt man hier gerade das Umgekehrte; dieses Drehungsmoment, welches ja auch negativ ist, nimmt an absoluter Größe im letzten Viertel der Schwingungszeit plötzlich sehr stark zu. Eine solche Unstetigkeit in der Veränderung der beiden Drehungsmomente deutet auf eine ganz plötzlich sich einstellende Kraft hin. Man könnte daran denken, daß zu dieser Zeit momentan neue Muskeln intensiv in den Bewegungsvorgang eingreifen. Es scheint sich aber eine viel ungezwungenere Erklärung dieser Erscheinung darzubieten.

Wie oben angeführt wurde, treten gerade zu der Zeit, in welcher die plötzlichen Größenschwankungen der beiden Drehungsmomente sich zeigen, höchst wahrscheinlich die Seitenbänder des Kniegelenks als Hemmungsbänder in Aktion. Die Drehungsmomente, mit welchen sie infolge ihrer passiven Anspannung in demselben Moment auf Oberschenkel und Unterschenkel einwirken müssen, sind nun gerade derart, daß sie eine solche plötzliche intensive Schwankung der Werte D_m nach sich ziehen können. Denn zunächst nimmt die Spannung eines passiv gedehnten Hemmungsbandes sehr schnell einen verhältnismäßig großen Wert an, und dann besitzt, wie schon oben angedeutet wurde, das von diesen Bändern auf den Oberschenkel ausgeübte Drehungsmoment das positive, dagegen das auf den Unterschenkel ausgeübte Drehungsmoment das negative Vorzeichen. Es muß also durch das Hinzutreten dieser neuen Momente das bis dahin negative Drehungsmoment der Muskeln am Oberschenkel an Größe kleiner und eventuell sogar positiv werden, während es am Unterschenkel an absoluter Größe entsprechend zunehmen wird, wie es tatsächlich der Fall ist. Durch ein plötzliches Eingreifen der Seitenbänder ließe sich auch die geringe Übereinstimmung in den Endteilen der Diagramme erklären; denn die passiv erzeugte Spannung eines Bandes ist viel mehr zufälligen Einflüssen unterworfen und daher weniger in ihrer Stärke konstant, als die durch aktive Kontraktion an einem Muskel hervorgerufene Spannung.

Im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden wird nun in den meisten Fällen wieder ein negatives Drehungsmoment auf den Oberschenkel ausgeübt. Die absolute Größe desselben ist jedoch nicht bedeutend und außerdem sehr schwankend.

Digitized by Google

Vergleicht man mit dem eben geschilderten Einfluß der Muskeln auf die Bewegung des Oberschenkels im Verlaufe der ganzen Schwingungsperiode die Einwirkung der Schwere, so erkennt man folgendes: Im Anfang unterstützen sich Muskeln und Schwere, indem sie beide den Oberschenkel im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers zu drehen suchen. Das Drehungsmoment der Schwere wird aber früher zu Null als das der Muskeln. Es folgt daher, nachdem die Längsachse des Oberschenkels die Vertikale passiert hat, zunächst eine Zeit, in der sich Muskeln und Schwere entgegen arbeiten; die ersteren suchen den Oberschenkel immer noch im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers zu drehen, während die Schwere ihn im Sinne des Uhrzeigers drehen will. Nachdem aber auch das Drehungsmoment der Muskeln den Wert Null durchlaufen und damit seinen Drehungssinn geändert hat, unterstützen sich wieder die Muskeln und die Schwere in dem Bestreben, den Oberschenkel im Sinne des Uhrzeigers, d. h. zur vertikalen Stellung zurückzudrehen.

Das Verhalten des Drehungsmomentes D_m, welches die Muskeln am Unterschenkel hervorbringen, mußte in seinen wesentlichsten Punkten schon bei der Untersuchung der auf den Oberschenkel einwirkenden Muskeln in Betracht gezogen werden. Es hat sich gezeigt, daß die Muskeln zu Beginn der Schwingungsbewegung auf den Unterschenkel ein positives Drehungsmoment ausüben; die Größe desselben stimmt ziemlich genau mit der Größe des im Anfang von der Schwere verursachten positiven Momentes überein. Es ist nun zu untersuchen, welche Muskeln für dieses Drehungsbestreben verantwortlich gemacht werden könnten. In Frage kommen die Teile des M. quadricéps cruris, also die Mm. rectus femoris, vastus lateralis, vastus intermedius und vastus medialis, ferner der M. gastrocnemius und der nur über das Fußgelenk hinwegziehende M. soleus. Da die drei eingelenkigen Teile des M. quadriceps cruris den Oberschenkel im negativen Sinne zu drehen suchen, und auch die Mm. gastrocnemius und soleus an dem Fuß eine negative Drehung hervorbringen wollen, während doch sowohl auf den Oberschenkel als auch auf den Fuß positive Drehungsmomente von den Muskeln im Anfang ausgeübt werden, so bleibt von allen diesen Muskeln allein der M. rectus femoris als geeignet übrig. Er wirkt zwar auch auf den Oberschenkel im negativen Drehungssinne ein, aber die Intensität dieses Drehungsmomentes ist sehr gering im Vergleich zu der Größe der

Digitized by Google

negativen Drehungsmomente, mit denen die drei anderen Teile des M. quadriceps cruris den Oberschenkel beeinflussen.

Das auf den Unterschenkel ausgeübte positive Drehungsmoment nimmt nun im Verlaufe der Schwingung zunächst zu, bis es etwa schon 0,03 sec nach dem Ablösen des Fußes vom Boden einen Maximalwert erreicht hat, der nahezu doppelt so groß ist als der Anfangswert. Es müssen sich daher in diesem Moment die Muskeln, also voraussichtlich der M. rectus femoris, bedeutend stärker kontrahieren als zu Beginn der Schwingung. Darauf verringert sich nun aber das Drehungsmoment wieder verhältnismäßig schnell, bis es etwas früher wie das auf den Oberschenkel ausgeübte Drehungsmoment zu Null geworden ist, so daß also dann in diesem Augenblik entweder gar keine Muskeln in Tätigkeit sind, oder die etwa in Kontraktion, bezüglich elastischer Spannung, befindlichen Muskeln sich das Gleichgewicht halten. Dieser Zustand dauert auch beim Unterschenkel einige Zeit, etwa 0,05 sec lang an, bis das Drehungsmoment dann seinen Sinn umgekehrt hat. Das nunmehr negative Drehungsmoment nimmt darauf an absoluter Größe erst allmählich, dann aber, wie schon oben angedeutet wurde, verhältnismäßig sehr schnell bis auf einen Maximalwert von durchschnittlich 300 kgcm zu, und verringert sich dann eben so schnell wieder. Im Moment des Aufsetzens des Beins auf den Fußboden besitzt es in einigen Fällen noch negativen Wert, in anderen ist es positiv geworden. Der Durchschnittswert aus allen sechs untersuchten Fällen ist nicht viel von Null verschieden. Es ist also auch beim Unterschenkel eine ganz entsprechende Unbestimmtheit des Drehungsmomentes der Muskeln im letzten Stadium der Schwingungsbewegung zu konstatieren, wie es sich schon beim Oberschenkel gezeigt hatte. Daß diese Unterschiede in den Endteilen der beiden Diagramme nicht etwa nur durch Fehlerquellen veranlaßt sein können, lehrt die verhältnismäßig große Übereinstimmung im übrigen Verlaufe der Diagramme. Man hat es daher vermutlich zuletzt noch mit einem Einfluß von Fasern der Seitenbänder des Kniegelenks zu tun.

Es ist endlich noch zu entscheiden, welche Muskeln die negativen Drehungsmomente am Unterschenkel hervorgebracht haben können. Diese Frage ist zum Teil schon bei der Betrachtung der Einwirkung auf den Oberschenkel beantwortet worden. Es kann sich danach um die Wirkung der Mm. biceps femoris caput

Digitized by Google

longum, semimembranosus oder semitendinosus handeln. Daß einer oder der andere dieser Muskeln sehr wahrscheinlich zu dieser Zeit in Kontraktion ist, wurde schon oben erwähnt. Außerdem können die auf der Vorderseite über das Fußgelenk hinwegziehenden Muskeln, als deren Hauptvertreter der M. tibialis anterior angeführt sein soll, in Betracht kommen. Diese letzteren Muskeln suchen gleichzeitig den Fuß im positiven Sinne zu drehen, was mit dem Verhalten der auf den Fuß einwirkenden Drehungsmomente wenigstens bis zum Beginn des letzten Viertels der Schwingungszeit übereinstimmen würde, wie man aus den unteren Diagrammen auf Tafel III erkennt. Im letzten Viertel der Periode des Schwingens haben die auf Unterschenkel und Fuß einwirkenden Drehungsmomente beide das negative Vorzeichen. Ein solcher Einfluß könnte vielleicht durch Kontraktion des M. gastrocnemius im Verein mit der Kontraktion des einen oder anderen der Mm. biceps femoris caput longum, semimembranosus und semitendinosus ausgeübt werden. Denn wenn auch der M. gastrocnemius den Unterschenkel im positiven Sinne zu drehen sucht, so wird das positive Drehungsmoment dieses Muskels doch voraussichtlich durch die zu gleicher Zeit von den Mm. biceps femoris caput longum, semimembranosus oder semitendinosus auf den Unterschenkel ausgeübten negativen Drehungsmomente bedeutend an Größe übertroffen. Dies geht einmal daraus hervor, daß der M. gastrocnemius bei dem Verlauf seiner resultierenden Zugrichtung auf den Unterschenkel mit einem an Größe geringeren Drehungsmoment einwirkt als auf den Fuß. Es steht aber auch damit in Einklang, daß dieser Muskel sich in Anbetracht der geringen Werte des auf den Fuß ausgeübten Drehungsmomentes überhaupt nur mit geringer Spannung im letzten Stadium der Schwingungsbewegung des Beins kontrahieren wird.

Vergleicht man nun auch beim Unterschenkel die Drehungsmomente der Muskeln mit denen der Schwere im Verlaufe der Schwingungsbewegung, so zeigt sich, daß im Anfang sich wieder beide in ihrem Bestreben, den Unterschenkel im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers zu drehen, unterstützen. Nachdem aber das Drehungsmoment der Muskeln zu Beginn des zweiten Viertels der Schwingungszeit zu Null, und etwa 0,05 sec darauf negativ geworden ist, arbeiten sich Muskeln und Schwere eine Zeit lang entgegen. Erst nachdem gegen Ende des zweiten Drittels der

Digitized by Google

Schwingungszeit auch das Drehungsmoment der Schwere das negative Vorzeichen angenommen hat, unterstützen sich beide wieder in dem Bestreben, nunmehr den Unterschenkel im Sinne des Uhrzeigers, also nach der Vertikalen zurückzudrehen.

Das auf den Fuß einwirkende resultierende Drehungsmoment der Muskeln unterscheidet sich von den am Oberschenkel und Unterschenkel angreifenden hauptsächlich dadurch, daß es von Anfang an längere Zeit als diese positiv bleibt. Erst nach dem Beginn des letzten Viertels der Schwingungszeit nimmt es das negative Vorzeichen an, wird aber etwa 0,02 sec vor dem Aufsetzen des Beins auf den Boden wieder positiv, und behält dann dieses Vorzeichen bis zuletzt bei. Während die Größen des auf den Unterschenkel ausgeübten Drehungsmomentes durchaus nicht geringer waren als die für den Oberschenkel geltenden, zeigt das am Fuß wirkende Drehungsmoment der Muskeln wesentlich geringere Größe im ganzen Verlauf der Schwingung des Beins. Daraus geht schon hervor, daß die Muskeln, welche für dieses Drehungsmoment verantwortlich zu machen sind, sich während der Schwingungsbewegung mit verhältnismäßig geringer Kraft kontrahieren werden.

Das positive Drehungsmoment behält im Anfang etwa 0,03 sec lang seinen Wert von nicht ganz 30 kgcm bei; dann geht es allmählig herab bis auf einen durchschnittlich unter 10 kgcm liegenden Wert und behält diesen letzteren längere Zeit, nahezu 0,2 sec lang, fast unverändert bei, bis es schließlich ganz auf Null herabsinkt. Zur Hervorbringung dieses positiven Drehungsmomentes sind nur die auf der Vorderseite über das Fußgelenk hinwegziehenden Muskeln, wie der M. tibialis anterior, geeignet. Dieselben wirken zwar auf den Unterschenkel im negativen Sinne ein, da aber der Wert des auf den Fuß ausgeübten Drehungsmomentes verhältnismäßig so gering ist, so kann dieses am Unterschenkel wirkende störende Drehungsmoment leicht durch die Drehungsmomente der sonst am Unterschenkel angreifenden Muskeln ausgeglichen werden. Es ist gar nicht unmöglich, daß nur etwa im ersten Viertel der Schwingungszeit die genannten Fußmuskeln sich aktiv kontrahieren, später aber nur noch durch ihre rein elastische Spannung wirken, nachdem der Schwerpunkt des Fußes vor die Achse des oberen Sprunggelenks gerückt ist. Denn es sind dann nicht nur die Drehungsmomente der Schwere, sondern auch die der Effektivkräfte negativ, so daß beide den Fuß entgegen der

Digitized by Google

Wirkung des M. tibialis anterior drehen wollen und daher sehr wohl den Muskel dehnen können. Für das letztere würde auch der Umstand sprechen, daß im zweiten und dritten Viertel der Schwingungszeit der Wert des auf den Fuß ausgeübten Drehungsmomentes D_m der Muskeln sich so konstant auf seiner geringen Höhe hält.

Nachdem das Drehungsmoment für den Fuß negativ geworden ist, nimmt es verhältnismäßig schnell an Intensität zu, bis es etwa in der Mitte des letzten Viertels der Schwingungszeit seinen größten Wert von etwa 40 kgcm erreicht hat; dann verringert es ebenso schnell wieder seine Größe bis zum Wert Null. Dieses negative Drehungsmoment kann nur von Muskeln verursacht sein, die auf der Rückseite über das Fußgelenk hinwegziehen, also in erster Linie von den Mm. gastrocnemius und soleus. Da der M. soleus aber den Unterschenkel viel stärker im positiven Sinne zu drehen sucht als der M. gastrocnemius, das Drehungsmoment der Muskeln beim Unterschenkel in diesem Zeitraum aber im Gegenteil besonders stark negativ ist, so ist kaum anzunehmen, daß auch der M. soleus an der Hervorbringung der Schwingungsbewegung beteiligt ist. Es kommt daher vor allen Dingen der M. gastrocnemius in Frage. Es ist um so wahrscheinlicher, daß dieser Muskel sich gegen Ende der Schwingungszeit kontrahiert, als derselbe auf den Oberschenkel im positiven Sinne einwirkt. Das Drehungsmoment des Oberschenkels erfährt aber gerade zu dieser Zeit bekanntlich eine positive Schwankung, die in den meisten Fällen allerdings so stark ist, daß sie nicht allein durch die Kontraktion des M. gastrocnemius erklärt werden kann; denn die Spannung, welche dieser Muskel dabei entwickelt, kann ja infolge des geringen Wertes des auf den Fuß ausgeübten Drehungsmomentes nicht sehr groß sein. Es hat sich ja aber auch die plötzliche positive Schwankung der Drehungsmomente des Oberschenkels und Unterschenkels schon oben durch das voraussichtliche Eingreifen der Seitenbänder des Kniegelenks erklären lassen. Das geringe positive Drehungsmoment, welches die Muskeln ganz zuletzt noch auf den Fuß ausüben, deutet darauf hin, daß vor dem Aufsetzen des Beins auf den Fußboden noch einmal die vorderen Muskeln wie z. B. der M. tibialis anterior zur Kontraktion gelangen, oder doch wenigstens durch ihre elastische Spannung wirken.

Digitized by Google

Vergleicht man endlich noch das gegenseitige Verhalten von Muskeln und Schwere, so erkennt man aus den Diagrammen auf Tafel III, daß dieselben sich etwa während des ersten Drittels der Schwingungszeit in ihrem Bestreben, den Fuß im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers zu drehen, unterstützen. Von da an wirken sich Muskeln und Schwere bis zum Beginn des letzten Viertels der Schwingungszeit entgegen; die Schwere sucht im Sinne des Uhrzeigers zu drehen, die Muskeln wollen den Fuß dagegen im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers bewegen. Darauf unterstützen sich wieder beide in dem Bestreben, den Fuß im Sinne des Uhrzeigers zu drehen, bis die letzten 0,03 sec vor dem Aufsetzen des Fußes die Schwere zwar noch im Sinne, die Muskeln dagegen im umgekehrten Sinne wie der Uhrzeiger den Fuß zu drehen suchen. —

Die bisherige Untersuchung hat ergeben, daß man schon aus der Kenntnis der Drehungsmomente Schlüsse auf die Muskeln ziehen kann, welche sich voraussichtlich in den einzelnen Momenten kontrahiert haben, um im Verein mit der Schwere die Schwingungsbewegung des Beins herzorzurufen. Dagegen ließ sich natürlich nicht nachweisen, ob nicht auch andere Muskeln dabei tätig sind, welche teilweise den angegebenen Muskeln entgegen zu wirken suchen. Die bisher gewonnenen Resultate sind nur so zu verstehen, daß von allen etwa wirksamen Muskeln die durch die vorliegende Untersuchung gefundenen voraussichtlich mit Drehungsmomenten auf die drei Abschnitte des Beins einwirken, welche an Größe die algebraische Summe der übrigen von Muskeln ausgeübten Drehungsmomente übertreffen, und zwar um die in den Tabellen 7 bis 12 angegebenen Werte. Es ist aber vorläufig noch nicht möglich, für jeden einzelnen Muskel die Größe des von ihm allein hervorgerufenen Drehungsmomentes anzugeben, und man ist daher auch noch nicht imstande, die Spannungen der verschiedenen Muskeln zu berechnen. Dazu bedarf es noch weiterer Untersuchung. Wenn sich durch dieselbe unzweifelhaft herausstellen sollte, daß nur stets einer der oben angegebenen Muskeln in den einzelnen Momenten der Schwingungsbewegung wirksam ist, so würde man dann die Gesamtspannung desselben durch Division des zugehörigen Wertes des Drehungsmomentes D_m mit dem Arm seines Kräftepaares erhalten.

Digitized by Google

Rückblick.

Nachdem im V. Teil der Untersuchung über den Gang des Menschen auseinandergesetzt worden ist, auf welche Weise die Frage exakt entschieden werden kann, ob zur Hervorbringung der Schwingungsbewegung des Beins beim Gehen die Tätigkeit von Muskeln erforderlich ist, und nachdem in jener Arbeit auch schon die für eine derartige Untersuchung nötigen kinematischen Grundlagen abgeleitet worden sind, findet sich nun in der vorliegenden Abhandlung diese Untersuchung durchgeführt.

In einem ersten Abschnitt wurden zunächst die in die Gangrichtung und die vertikale Richtung fallenden Komponenten der Effektivkräfte für die einzelnen Abschnitte des Beins im ganzen Verlaufe der Schwingungsbewegung bestimmt. Die Werte derselben finden sich in den Tabellen 1 bis 6 auf den Seiten 540 bis 545 niedergelegt und durch entsprechende Diagramme auf Tafel I veranschaulicht. Durch die Kenntnis dieser Effektivkräfte wird man gleichzeitig in den Stand gesetzt, sich über den Einfluß der Bewegung der drei Abschnitte des Beins auf den Druck im Hüft-, Knie- und Fußgelenk Rechenschaft zu geben, wie ausführlich im II. Abschnitt auseinandergesetzt worden ist.

Im III. Abschnitt sind nun die Werte der Drehungsmomente abgeleitet worden, mit denen die Schwere während der Schwingungsbewegung auf die drei Teile des Beins einwirkt. Dieselben finden sich in den Tabellen 7 bis 12 auf den Seiten 574 bis 585 aufgezeichnet und wiederum durch geeignete Diagramme auf Tafel III zur deutlichen Anschauung gebracht. Ferner wurden im IV. Abschnitte die von den Effektivkräften auf die drei Glieder des Beins ausgeübten Drehungsmomente berechnet und die Resultate dieser Rechnung ebenfalls in die Tabellen 7 bis 12 eingetragen. Die entsprechenden Diagramme finden sich auf Tafel II aufgezeichnet. Ein Vergleich dieser Diagramme mit denen auf

Digitized by Google

Tafel III, welche die Einwirkung der Schwere veranschaulichen, zeigt, daß der Einfluß der Effektivkräfte auf die Drehung der drei Abschnitte des Beins den der Schwere überwiegt, und daß im großen Ganzen sich beide Kräfte entgegenarbeiten.

Der V. Abschnitt beschäftigt sich zunächst mit der Ableitung der Trägheitsmomente der drei Teile der unteren Extremitäten in Bezug auf die zur Gangebene senkrechten Achsen ihrer Schwerpunkte. Sodann werden die Produkte aus diesen Trägheitsmomenten und den schon im V. Teil der Untersuchung über den Gang des Menschen gewonnenen Winkelbeschleunigungen berechnet. Auch die sich hierbei ergebenden Werte findet man in den Tabellen 7 bis 12 niedergelegt und durch Diagramme auf Tafel II dargestellt. Damit waren nun alle Unterlagen geschaffen, um mit Hilfe der im V. Teil aufgestellten Bewegungsgleichungen die unbekannten Drehungsmomente der inneren Kräfte, welche sich auf direktem Wege nicht ableiten lassen, zu berechnen. Diese ziemlich umfangreichen Rechnungen sind ausgeführt und die Resultate derselben ebenfalls in den Tabellen 7 bis 12 eingetragen worden. Außerdem finden sich die entsprechenden Diagramme zusammen mit den Diagrammen für die Drehungsmomente der Schwere auf Tafel III aufgezeichnet. Da in den Tabellen 7 bis 12 sich auch die in Grade umgerechneten Richtungswinkel für alle drei Abschnitte des Beins angegeben finden, so enthalten diese Tabellen die Werte aller Größen, welche für die Kinetik des Beinschwingens von Belang sind.

Die inneren Kräfte können, wie gezeigt worden ist, zum allergrößten Teil nur durch die Kontraktion von Muskeln ausgelöst werden. Es beziehen sich daher die in den Tabellen angegebenen Werte der Drehungsmomente D_m fast ausschließlich auf die Wirkung der Muskeln; sie sind deshalb in der Arbeit auch vielfach kurz als die Drehungsmomente der Muskeln bezeichnet worden.

Ein Vergleich der von den Muskeln ausgeübten Drehungsmomente mit denen, welche von der Schwere herrühren, zeigt nun, daß die Schwingung des Beins in noch stärkerem Maße der Einwirkung der Muskeln als dem Einfluß der Schwere zuzuschreiben ist. Damit ist aber der exakte Beweis erbracht, daß die Schwingungsbewegung des Beins sich auch nicht annähernd als reine Pendelschwingung darstellt, und daß daher die viel diskutierte Pendeltheorie der Brüder WEBER falsch ist.

Digitized by Google

Wenn nun auch die Werte der Drehungsmomente D_m allein noch keine sicheren Schlüsse auf die Muskeln zulassen, welche hauptsächlich an der Hervorbringung der Schwingungsbewegung des Beins beteiligt sind, so machen sie doch folgendes wahrscheinlich: Zu Anfang der Periode des Schwingens wirken die sogenannten Beuger des Oberschenkels, wie der M. iliopsaos, ferner der M. rectus femoris und der M. tibialis anterior. Die Spannung dieser Muskeln wird im Verlaufe der Schwingung allmählich geringer, bis die Kontraktion gegen Ende des ersten Drittels der Schwingungsdauer ganz aufhört. Nun folgt eine etwa 0,04 sec lange Pause, in welcher nur der M. tibialis anterior schwach kontrahiert oder nur rein elastisch gespannt ist. Nach Ablauf derselben kontrahieren sich voraussichtlich sogenannte Rückwärtsstrecker des Oberschenkels, wie der M. glutaeus maximus, ferner einer oder der andere der drei Muskeln M. biceps femoris caput longum, M. semimembranosus und M. semitendinosus, während der M. tibialis anterior immer noch in seiner Spannung anhält. Im letzten Viertel der Schwingungszeit wird der M. tibialis anterior voraussichtlich durch den M. gastrocnemius abgelöst, während es nicht wahrscheinlich ist, daß auch der M. soleus zur Kontraktion gebracht wird. Kurz vor dem Aufsetzen des Beins auf den Fußboden tritt dann vielleicht wieder der M. tibialis anterior in Tätigkeit. Es ist aber zu bemerken, daß die beiden über das Fußgelenk hinwegziehenden Muskeln im allgemeinen überhaupt nur geringe Spannungen in der Periode des Schwingens annehmen werden.

Eine weitere spezielle Untersuchung wird zeigen, in wie weit diese Vermutungen über die Wirkung der Muskeln bei der Schwingungsbewegung des Beins durch andere Tatsachen gestützt werden.

Digitized by Google

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

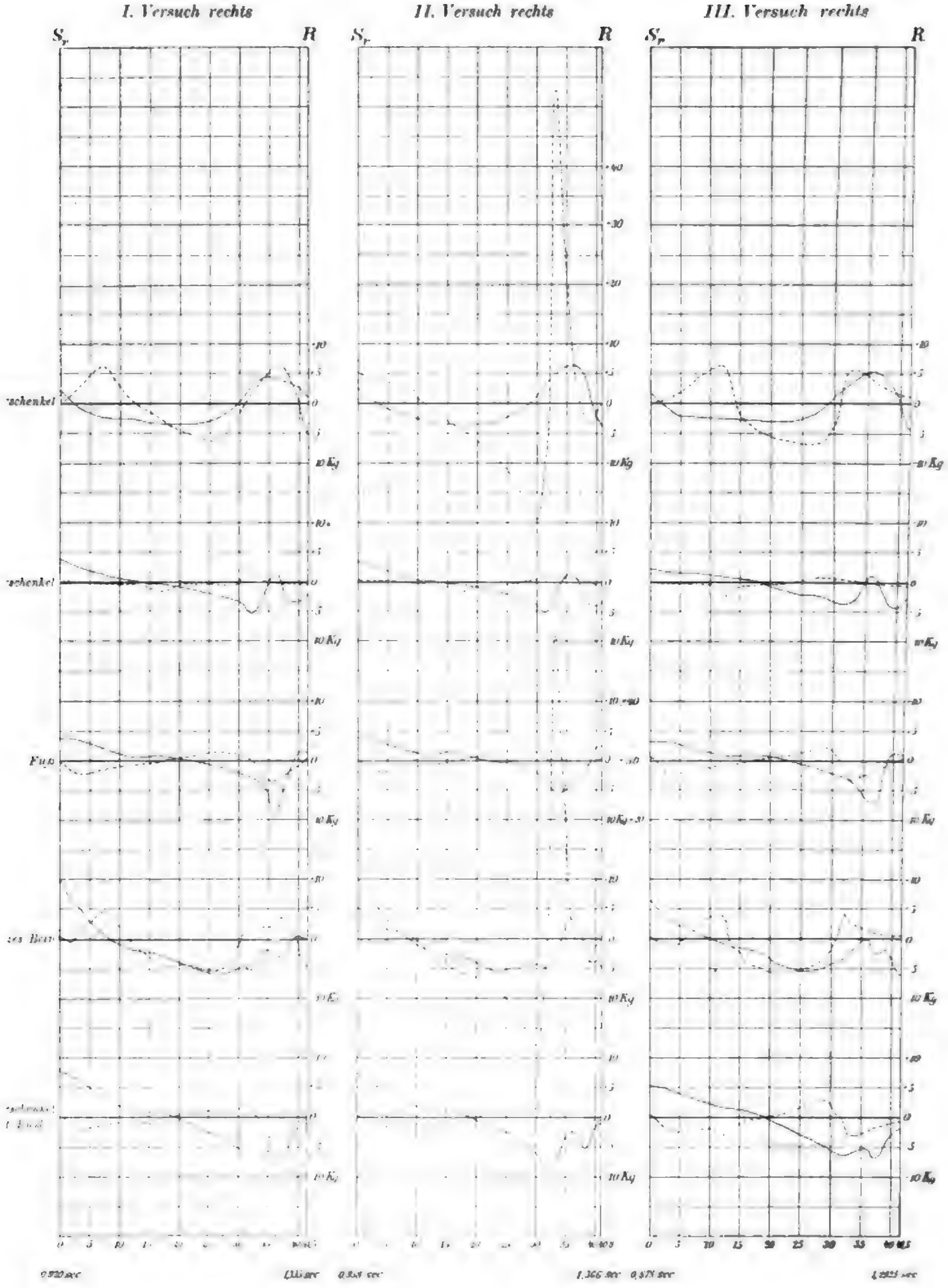
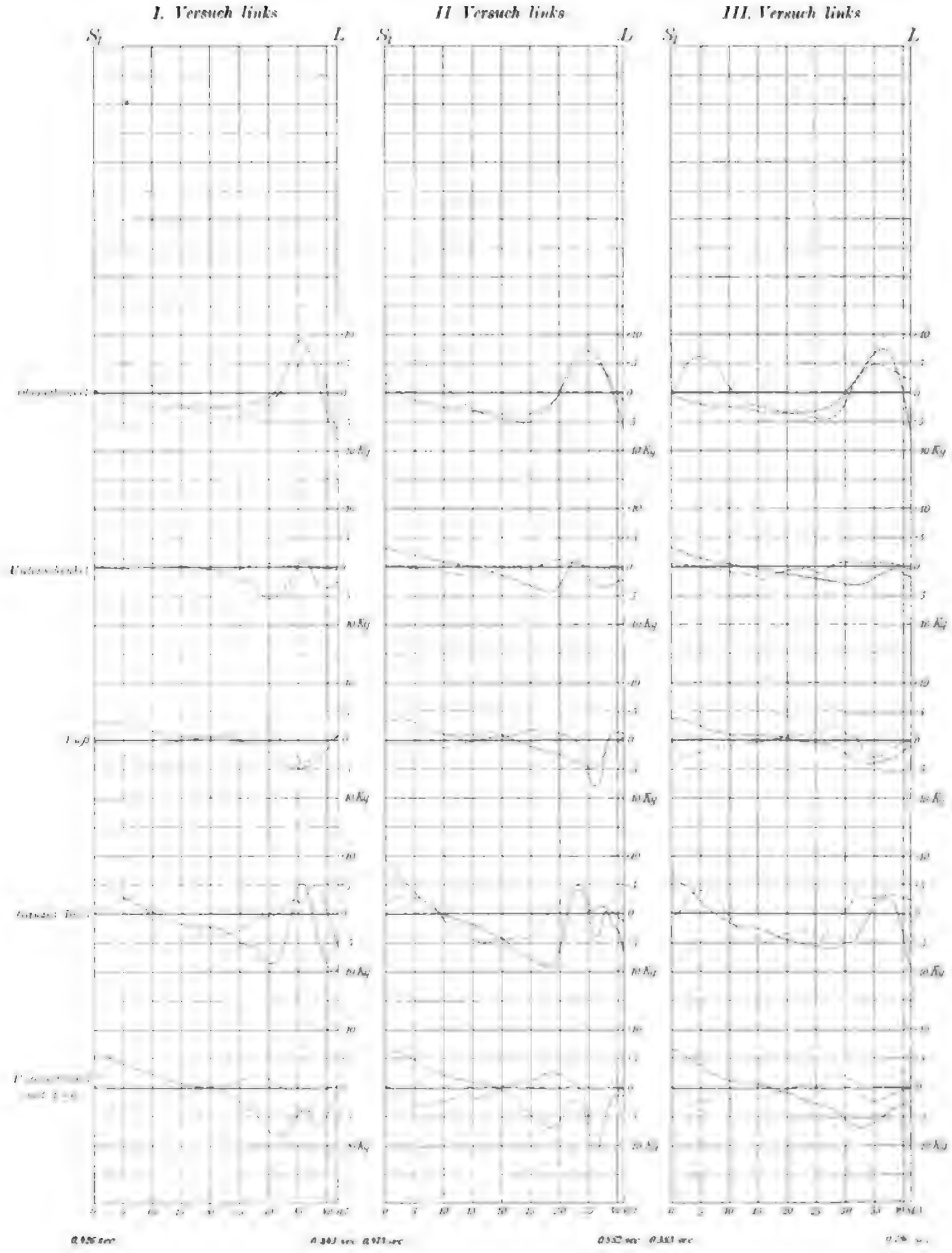


Diagramme für die Komponenten der Effektivkräfte in der Gangrichtung (–



und in der vertikalen Richtung (– – – –) während der Schwingung des Beins.

Digitized by Google

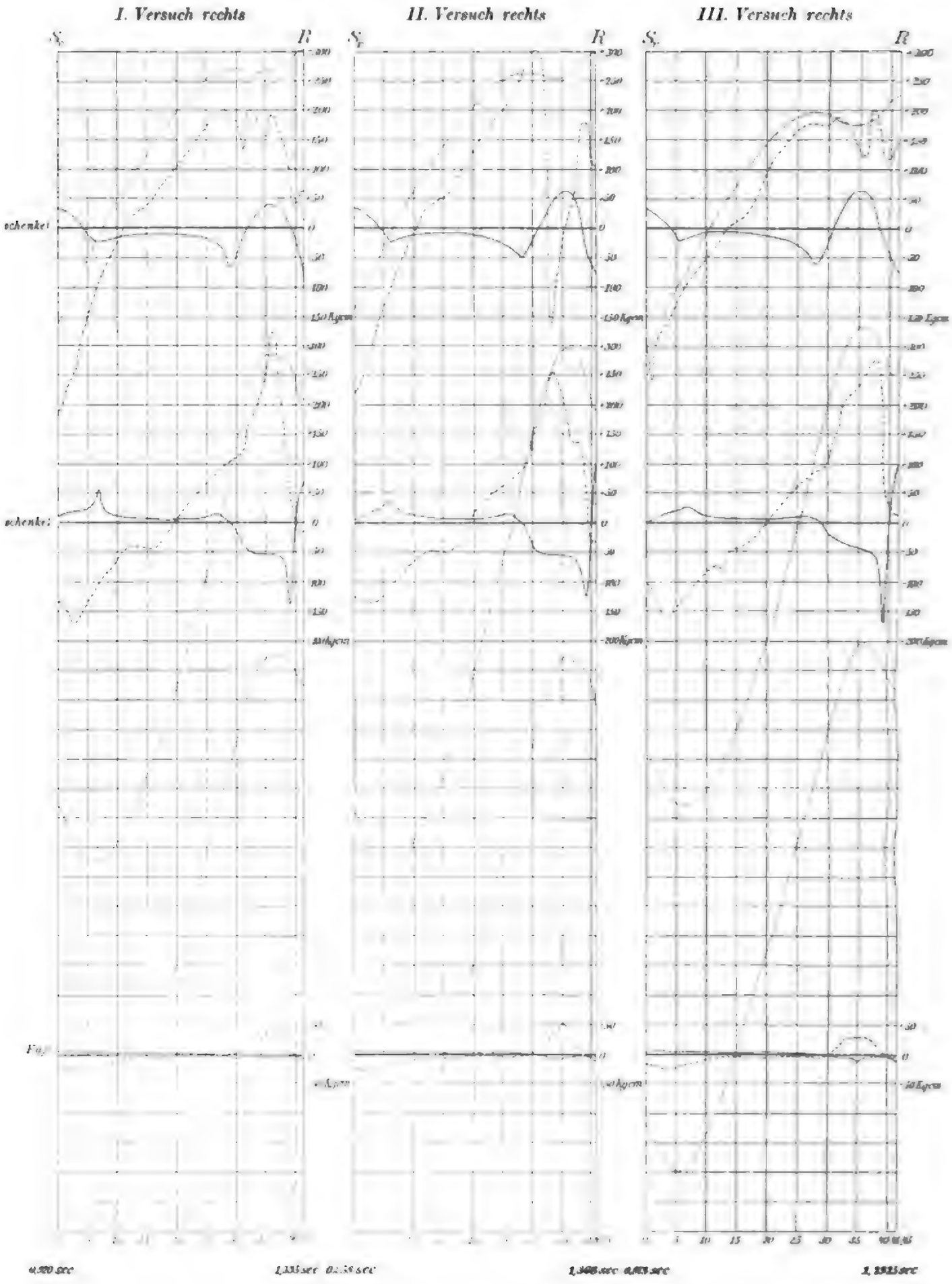
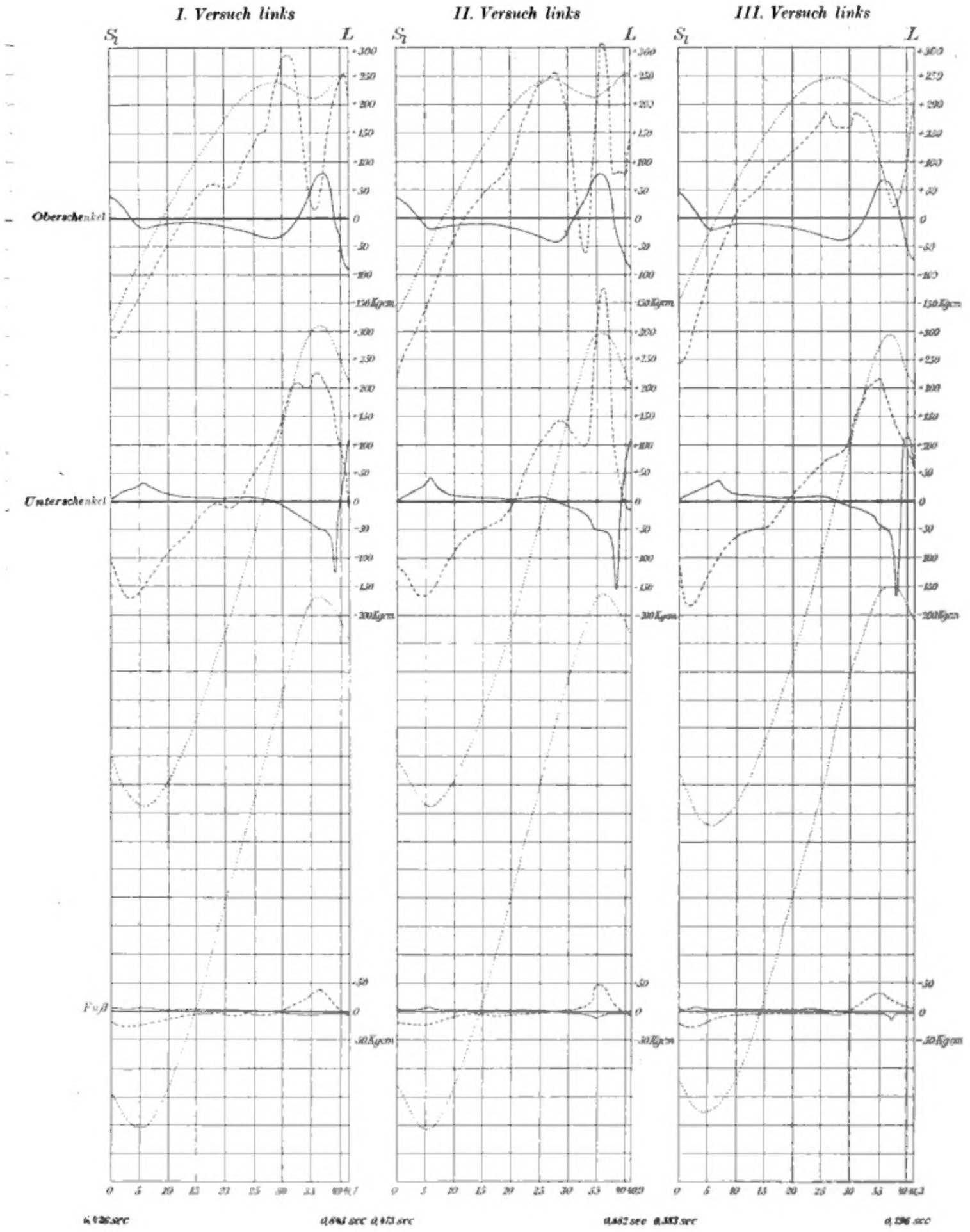


Diagramme für die Produkte aus den Trägheitsmomenten und Winkelbeschle
während der Schw

Positive Ordinate zeigt an, daß das betreffende Drehungsmomen
[Die fein punktierten Diagramme ( ) veranschaulichen die Größen d



nigungen (—) und für die Drehungsmomente der Effektivkräfte (– – – –)
gung des Beins.

m umgekehrten Drehungssinne des Uhrzeigers ausgeübt wird.
Richtungswinkel, wobei 1° durch die Länge von 1 mm dargestellt ist.]

Digitized by Google

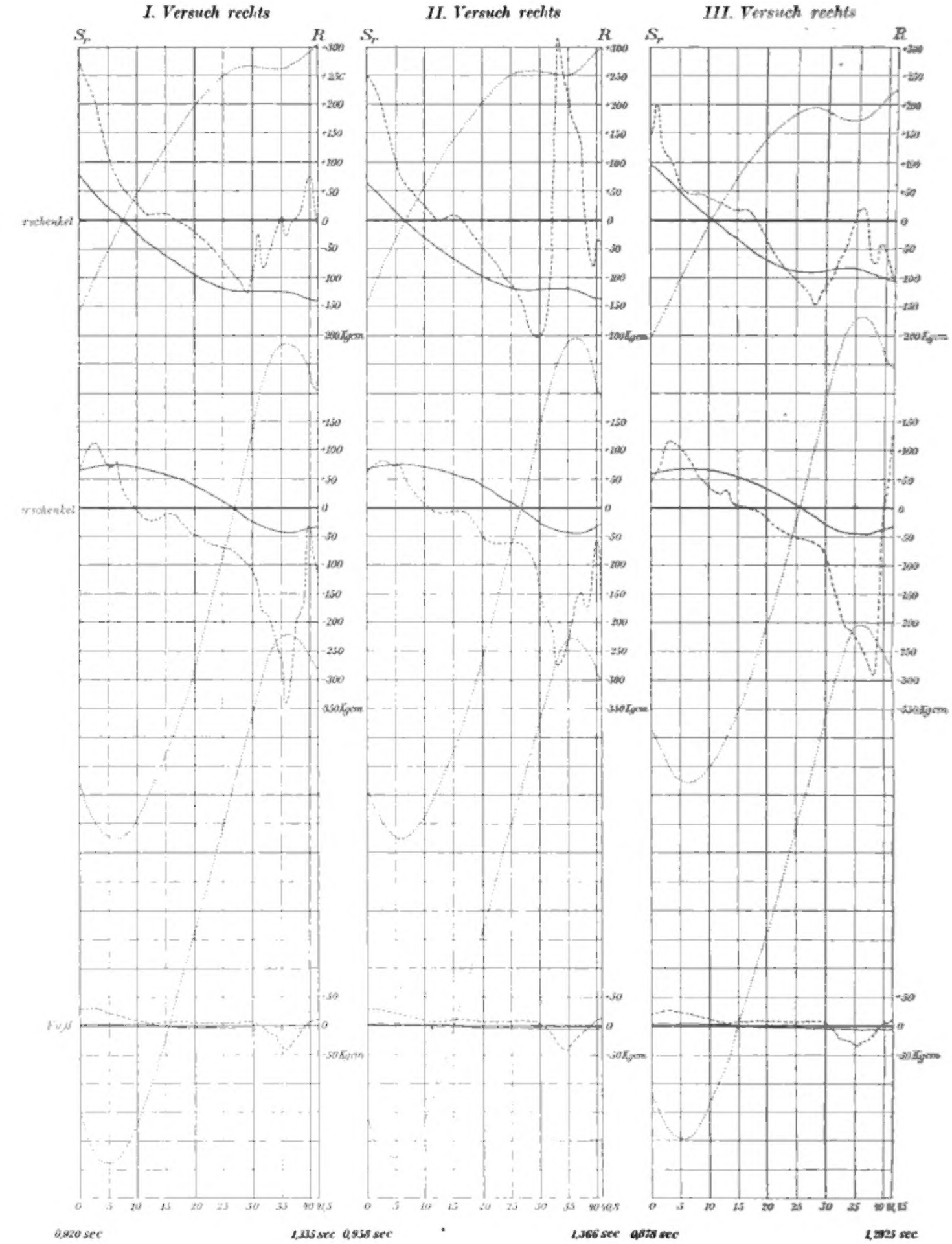
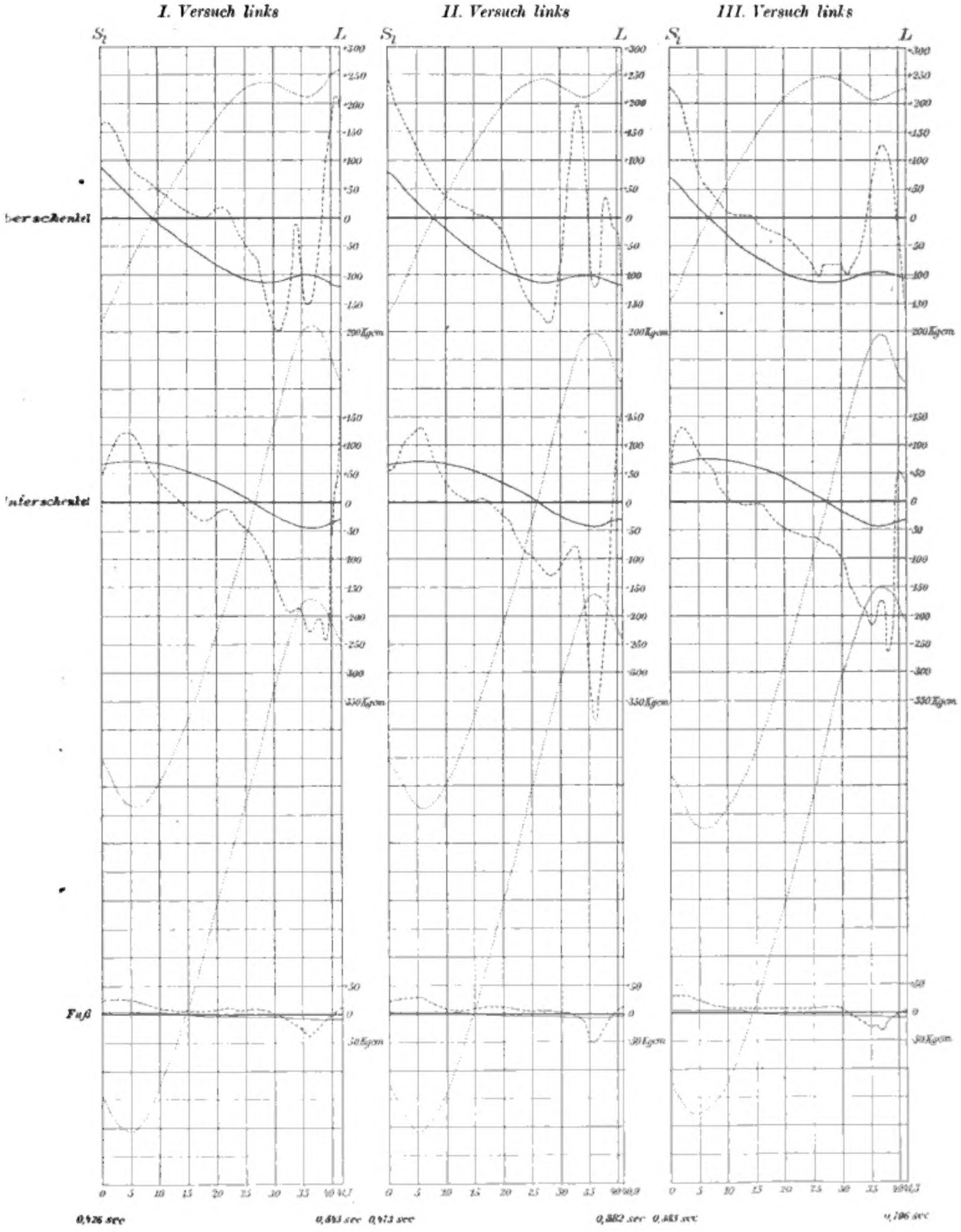


Diagramme für die Drehungsmomente der Schwere (—) u

Positive Ordinate zeigt an, daß das betreffende Drehungsm
[Die fein punktierten Diagramme ( ) veranschaulichen die Größ

Digitized by Google



der Muskeln (– – – –) während der Schwingung des Beins.

t im umgekehrten Drehungssinne des Uhrzeigers ausgeübt wird.
ler Richtungswinkel, wobei 1° durch die Länge von 1 mm dargestellt ist.]

Digitized by Google

Digitized by Google